OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

LIBRAIRIE BÉRANGER

Traité des Gîtes minéraux et métallifères, par FUCHS et DE LAUNAY, 2 vol. grand in-8° de CXII-824 et 1.004 p. (1893) . . . . . 60 fr.

Les Mines d'or du Transvaal. 1 vol. grand in-8° de XXXII-540 p. (1896) . 15 fr.

Les Diamants du Cap. 1 vol. in-8° de 226 p. (1897). . . . . 10 fr.

Les Sources thermominérales. 1 vol. grand in 8° de x-636 p. (1899). . 25 fr.

Les Richesses minérales de l'Afrique. 1 vol. gr. in-8° de 396 p. (1903). 20 fr.

La Métallogénie de l'Italie et des régions avoisinantes. 1 vol. in-8° de 146 p. (1906) . . . . . 15 fr.

La Géologie et les Richesses minérales de l'Asie. 1 vol. grand in-8° de 816 p. et 10 pl. (1911) . . . . . 35 fr.

Formation des Gîtes métallifères (1re édition 1893 ; 2e édition, 1905). 1 vol. in-16, chez Gauthier-Villars (1905). . . . . 3 fr.

Statistique des Gîtes métallifères. 1 vol. in-16, chez Gauthier-Villars (1894). . . . . 3 fr.

L'Argent. 1 vol. in-16, chez Baillière (1895). . . . . 4 fr.

La Science géologique. 1 vol. in-8° de 752 p., chez Armand Colin (1re édition 1905 ; 2e édition 1912). . . . . 20 fr.

L'Or dans le monde. 1 vol. in-16 de 266 p., chez Armand Colin (1907). 3 fr. 50

Géologie pratique. 1 vol. in-18 de 344 p., chez Armand Colin. (1re édition 1901 ; 2e édition 1909). . . . . 3 fr. 50

Histoire de la Terre (10e mille). 1 vol. in-16 de 312 p., chez Flammarion (1907) . . . . . 3 fr. 50

La Conquête minérale (4e mille). 1 vol. in-16 de 390 p., chez Flammarion (1908) . . . . . 3 fr. 50

Contribution à l'Etude des Gîtes métallifères. 1 vol. in-8°, chez Dunod (1899). . . . . 4 fr.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TRAITÉ DE MÉTALLOGÉNIE

GÎTES MINÉRAUX

ET

MÉTALLIFÈRES

GISEMENTS, RECHERCHE,
PRODUCTION ET COMMERCE DES MINÉRAUX UTILES
ET MINERAIS,
DESCRIPTION DES PRINCIPALES MINES

PAR

L. DE LAUNAY

Membre de l'Institut.
Ingénieur en Chef des Mines,
Professeur à l'Ecole supérieure des Mines,
et à l'Ecole des Ponts et Chaussées.

TOME SECOND

Sciences de la terre BIUS JUSSIEU PARIS

PARIS ET LIÉGE

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

PARIS, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

LIÉGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE, 21

1913

Tous droits réservés.

8°Geol.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

GITES MINÉRAUX ET MÉTALLIFÈRES

CHAPITRE XXVII

ÉTAIN

Sn = 119,0

HISTORIQUE. USAGES ET COMMERCE

Historique. — Le rôle historique de l'étain sous la forme de bronze est bien connu et soulève des questions d'origine qui ont été souvent discutées[1]. Il n'est pas exact, comme on l'a parfois prétendu, que le bronze ait été connu avant le cuivre : ce qui eût été tout à fait illogique. Des analyses de Berthelot ont montré que divers objets chaldéens ou égyptiens datant de quatre mille ans avant notre ère et supposés de bronze, étaient, en réalité, formés de cuivre pur. Mais il n'est pas vrai non plus que cette période si reculée ait marqué encore un âge du cuivre pur antérieur à celui du bronze. Le bronze était utilisé déjà à la même époque lointaine dans le bassin de Méditerranée Orientale et l'on retrouve, dans des civilisations complètement indépendantes comme celles de l'Amérique ou de la Chine, un usage primitif de ce même alliage. Des bijoux d'étain pur ont été également retrouvés dans de très anciennes sépultures. Ces faits sont assez singuliers au premier abord, étant donné l'aspect peu métallique et, par conséquent, peu frappant du minerai d'étain. Mais il est très probable que l'étain aura commencé par être reconnu en lavant des alluvions à sables noirs de cassitérite qui, avant d'être épuisées dans les pays d'ancienne civilisation par le traitement même, ont dû être assez fréquentes sur les régions granitiques de l'Europe et de l'Asie, où l'on aura remarqué, par hasard, une substance plus fusible donnant, avec le charbon, un métal brillant[2].

Ce que nous savons d'une façon précise et historique pour les immenses champs d'alluvions stannifères du Cornwall, de l'Erzgebirge, etc., que

[1] J'ai étudié cette question historique dans *la Conquête minérale* (Paris, Flammarion, p. 52 et 58 à 69). On trouvera également, dans *les Richesses minérales de l'Asie*, diverses indications à ce sujet, notamment page 694, un petit fait historique récent qui peut éclaircir la découverte de bien des gisements anciens. — Voir encore : 1881. Dufrénoy. *Sur l'histoire de la production et du commerce de l'étain* (Ann. du génie civil). — 1884. G. Bapst. *L'étain*, etc.

[2] D'autre part, l'invention du bronze peut s'expliquer par l'existence, signalée plus loin, de tout un groupe métallogénique où l'étain et le cuivre se présentent naturellement associés.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

l'on a exploités pendant l'antiquité et au moyen âge, ce que nous pouvons aisément soupçonner en Gaule et en Espagne par l'aspect des tranchées subsistantes, a dû se passer en bien d'autres points ignorés de nous.

Après une période où le bronze a joué le rôle essentiel dans la fabrication des armes et des outils, le fer étant alors un métal difficile à obtenir en grandes masses, l'usage du bronze et de l'étain est resté longtemps encore très important, alors que beaucoup de métaux, aujourd'hui réputés de premier ordre, étaient peu ou pas connus. Ainsi, pendant le moyen âge, l'étain a tenu, dans la vie courante, une place considérable, que nous serions tentés d'oublier, alors qu'on ne disposait ni du verre ni de la porcelaine, et que l'on confectionnait en étain les plats, bassins, couverts, brocs, aiguières, chandeliers, ornements d'église, etc. Le temps n'est pas encore bien éloigné où la vaisselle d'étain était d'un usage habituel dans les campagnes, remplacée seulement chez les plus riches par la vaisselle plate d'argent ou d'or. Actuellement, cet usage a presque disparu ; mais il en reste beaucoup d'autres, soit pour l'étain pur, soit pour ses alliages, soit pour ses sels, que nous allons énumérer.

Usages actuels. — Les emplois de l'étain métallique tiennent surtout à ce qu'il s'altère peu au contact de l'air et des acides et ne donne que des sels non vénéneux à petite dose; en sorte qu'on en fabrique, ou tout au moins en enduit, beaucoup d'ustensiles destinés à contenir les matières alimentaires. On s'en sert surtout pour étamer l'intérieur des instruments de cuisine en cuivre ou en fer, ou encore, à l'état de feuilles minces, pour envelopper le thé, le chocolat, etc.[1]. Dans cette dernière application, d'autres alliages moins coûteux, et, depuis peu, l'aluminium, tendent cependant à lui faire concurrence.

Le *fer-blanc* n'est autre chose que de la tôle de fer, à la surface de laquelle on forme un alliage stannifère superficiel, recouvert lui-même d'étain pur. Attaqué par un acide, il donne les *moirés,* qui ont été, vers 1820, l'objet d'une industrie assez considérable, aujourd'hui disparue. L'application à l'étamage des glaces a également cessé.

Un grand nombre d'alliages d'étain ont des applications : le *bronze* d'abord (cuivre et étain) pour cloches, statues, monnaies, etc. ; le *laiton* (cuivre et zinc, avec un peu de plomb et d'étain) pour les épingles; puis les alliages divers d'étain et de plomb, tels que :

	Plomb.	Etain.
Soudure des plombiers.	66	33
— ferblantiers	50	50
Alliage pour vaisselle et robinets.	8	92
— flambeaux.	20	80

Citons encore : l'alliage des caractères d'imprimerie (20 d'antimoine pour 80 de plomb), auquel on ajoute souvent 8 à 10 p. 100 d'étain pour lui donner de la ténacité en même temps qu'un grain plus fin ; l'amalgame d'étain qui, pendant longtemps, avant la découverte des procédés actuels d'argenture, a servi à étamer les glaces, etc.

[1] Il peut être réduit en feuilles de 25 dix-millièmes de millimètre. Sa malléabilité le place entre le cuivre et le platine. Sa température de fusion est de 231°.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Quelques-uns des composés de l'étain ont également des emplois.

L'oxyde d'étain calciné est utilisé pour donner de l'opalescence aux verres ; il entre dans la composition des émaux et du vernis de faïence. La *potée d'étain*, dont on se sert pour polir les objets fabriqués avec des corps durs, se prépare, en général, en calcinant à l'air un alliage d'étain et de plomb. L'*or mussif* (sulfure stannique) sert à bronzer le bois, le plâtre, etc.

L'étain entre dans quelques matières colorantes : le *pinck colour*, stannate de chrome et de chaux de couleur rose, employé dans la peinture sur faïence pour avoir à la cuisson un ton rouge sang ; la *laque minérale* d'un beau lilas, obtenue en calcinant un mélange intime de 100 parties d'acide stannique et 2 parties de sesquioxyde de chrome (papiers peints, faïence) ; le *pourpre de Cassius*, résultat de la réduction d'un sel d'or par le bichlorure d'étain, utilisé pour la coloration du verre ou de la porcelaine, etc.

Le protochlorure d'étain sert dans la fabrication des toiles peintes pour enlever au lavage, après les avoir rendus solubles par réduction, des sesquioxydes de fer ou de manganèse, etc.

Commerce et prix de l'étain. — L'étain est un métal relativement rare et coûteux. Au commencement du XIX^e^ siècle, il valait 4 500 francs la tonne. Vers 1890, il était tombé à 2 500. Depuis ce moment, sa hausse a été considérable et progressive. En 1907 on le trouve à 3 400 ; à la fin de 1909 à 3 800 ; à la fin de 1910 à 4 590 ; à la fin de 1911 à 5 350. Les mines d'étain importantes sont, en effet, peu nombreuses et tendent à s'épuiser et la consommation, sans avoir pris une montée ascendante aussi rapide que celle de quelques autres métaux, s'accroit néanmoins à la longue avec l'augmentation de la population mondiale et le développement de la civilisation. On cote généralement à des cours différents les marques Bangka, Billiton, ou Cornwall anglais. A une même date, le Bangka valant 459 fr. les 100 kgs. à la Bourse de Paris, le Billiton vaudra 455, le Cornwall 439.

STATISTIQUE[1]

La statistique de 1807 mentionnait, comme producteurs des minerais d'étain européens : la Grande Bretagne avec 3 050 t., la Saxe avec 125 t., la Bohême avec 100 t. Vers 1880, on estimait la production mondiale de l'étain à 43 000 t., dont 21 000 venant des Détroits, 8 000 du Cornwall, 8 000 de l'Australie, 4 000 de la Chine, 1 000 de la Bolivie. Il y avait, en outre alors, une petite production au Pérou (100 t.), en Saxe et en Bohême (30 t.).

La production de l'Australie et de la Tasmanie, qui était montée à

[1] Voir, pour une période antérieure, 1899. H. Louis. *The production of Tin* (Mining Journal).

Les productions sont souvent estimées en « étain noir » (c'est-à-dire en cassitérite) ou en « concentrés », que l'on a amenés suivant les cas, à une teneur de 65, 70, ou 75 p. 100 d'étain.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

62 000 t. de minerais en 1883, était tombée à 3 000 en 1890. Mais elle a fortement remonté depuis 1900. En 1890, on avait, en chiffres ronds, comme production mondiale, 58 000 t., dont 38 000 pour les Détroits, 8 000 pour le Cornwall, 5 700 pour l'Australie, 4 000 pour la Chine, 1 000 pour la Bolivie.

Voici enfin, d'après la *Mineral Industry*, les chiffres donnant, dans ces dernières années, en tonnes métriques, la répartition de la production stannifère entre les principaux producteurs.

TABLEAU 1. — PRODUCTION MONDIALE DE L'ÉTAIN

	1900	1902	1904	1906	1907	1908	1909	1910
Détroits	67 400	73 700	76 400	70 800	70 200	77 700	75 960	72 110
Bolivie.	7 000	10 300	13 200	16 700	16 600	17 200	18 500	18 520
Australie. . . .	3 300	3 300	4 900	6 000	6 700	6 000	5 500	4 640
Cornwall. . . .	4 400	4 500	4 200	4 600	4 800	5 100	5 300	5 900
Yuunan	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 600	4 300	4 500
Swaziland . . .	»	»	»	»	»	»	535	328
Total avec divers.	86 200	95 700	102 800	102 800	101 600	110 560	109 600	105 800

Ces chiffres montrent comment, de 1890 à 1904, la production de l'étain dans le monde a presque doublé[1]; mais aussi comme, depuis ce moment, elle reste à peu près stationnaire. Ils font, en même temps, ressortir à quel point cette production est localisée entre cinq grands centres de production, dont l'un, la région des Détroits, fournit, depuis longtemps, les trois quarts de la consommation mondiale[2].

Nous allons successivement examiner ces grandes régions stannifères et nous mentionnerons ensuite quelques pays secondaires.

Détroits. — Le grand centre de production de l'étain dans le monde est la région dite des Détroits, comprenant : les Etats anglais de la presqu'île de Malacca et, par extension, les îles néerlandaises de Bangka, Billiton, etc. La répartition actuelle de cette production, est d'environ 70 p. 100 pour les Etats Malais et 30 p. 100 pour les îles hollandaises (dont 22 p. 100 pour Bangka, 7 p. 100 pour Billiton et 1 p. 100 pour Singkep).

Dans le premier semestre de 1911, les Détroits (Straits) ont expédié en Europe et en Amérique : 26 237 t. contre 26 898 t. en 1910 et 28 897 en 1909, non compris les expéditions du même groupe en Inde et en Chine et les ventes de Bangka ou Billiton en Hollande.

[1] Les Etats-Unis à eux-seuls en prennent 40 p. 100. Leurs importations ont été: en 1907 et 1908, de 37.200 t.; en 1909, de 42 350 t.; en 1910, de 47 250 t.

[2] En outre, le traitement des vieux fers-blancs par le chlore pour en extraire l'étain a été organisé en grand dans ces dernières années. Dans la région rhénane (Essen, etc., etc.), on en traite 75.000 t. par an: en France (Lyon) et dans divers d'autres pays d'Europe, 25.000; aux Etats-Unis, 60.000; soit au total 160.000 t., pouvant fournir 3.000 à 3.500 t. d'étain.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dans la *presqu'île de Malacca*, la production de 1907 (évaluée en pikuls de 60,50 kg.) donnait, convertie en tonnes : Pérak, 25 992 t. contre 26 100 en 1906 ; Sélangor, 16 500 ; Negri Sembilan, 4 525 ; Pahang, 2 200. Celle de 1908 a été : Pérak, 27 760 ; Sélangor, 16 090 ; Negri Sembilan, 2 900 ; Pahang, 2600 ; au total, 49 372 t. Enfin en 1910, on a eu : Pérak, 18 540 t. ; Selangor, 11 200 ; Negri Sembilan, 1 575 ; Pahang, 1 800. Ces statistiques décomposent ce qu'on appelle le block (ou étain proprement dit), et le minerai à 70 p. 100. Le nombre des mineurs a été, en 1908, de 231 368 (36 287 de moins qu'en 1907) [1].

Nous ne possédons pas, pour l'avenir de ces exploitations de la presqu'île de Malacca, des renseignements analogues à ceux que nous allons donner pour les Indes néerlandaises, où l'on n'estime pas que l'exploitation puisse durer encore plus d'une vingtaine d'années. Les alluvions de la presqu'île, quoique moins anciennement fouillées, commencent à s'épuiser elles aussi. Mais le pays est vaste, les gisements y sont nombreux, et, dans le granite profondément décomposé par l'altération tropicale, les exploitations en roche présentent, au début, des conditions favorables.

Dans les Indes Néerlandaises, le grand producteur est *Bangka*. Un relevé, fait pour cette île par Verbeek, donne, comme chiffre de production total depuis le début du XVIII[e] siècle (1718) jusqu'en 1900, 441 000 t. d'étain, dont 139 000 pour les seules vingt dernières années. En 1900, les sondages exécutés permettaient d'évaluer l'étain restant à recueillir à environ 180 000 t. : ce qui, pour une production annuelle de 12 000 t., faisait alors prévoir l'épuisement définitif vers 1920. La quantité totale d'étain qui aura pu alors être extraite de cette île dépassera 600 000 t.

En 1908, Bangka a produit 11 670 t. ; mais, pour 1909-1910, on a annoncé un accroissement anormal : 15 700 t.

L'exploitation de *Billiton* est beaucoup plus récente que celle de Bangka. C'est en 1852 que la concession fut accordée au Prince Henri des Pays-Bas avec deux associés. La Société, constituée en 1860 au capital de 5 millions de florins, a obtenu en 1892 un renouvellement assez onéreux, après une discussion politique très vive. Elle doit aujourd'hui verser au trésor les 5/8 du solde créditeur de son compte de profits et pertes. Antérieurement, elle avait fait de très beaux bénéfices. La *Billiton tin Cy* a exporté en 1910, 2 250 t., contre 4 387 en 1901. Elle occupe 11 300 mineurs. L'emploi de dragues a permis de traiter des minerais plus pauvres que précédemment. Néanmoins, l'épuisement des gisements est prochain.

Enfin, l'île de *Singkep* a été concédée en 1887, à une société dont le siège est à la Haye et qui, depuis 1900, exploite les alluvions de Kedah appartenant au Siam dans la presqu'île de Malacca : les deux productions étant confondues dans les tableaux. En 1900, cette société a produit 890 t. d'étain ; en 1909, 417 t.

Bolivie. — La production bolivienne est en forte croissance depuis quelques années et est certainement appelée à s'accroître encore avec

[1] Voir une carte de ces exploitations dans la *Mineral Industry* de 1907, p. 867.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le développement des voies de communications et les progrès de la stabilité politique.

Les mines y sont situées à une grande altitude qui, en moyenne, atteint 4 300 m. La principale est celle de Salvadore à Uncia (Potosi), qui peut produire près de 1 000 t. Puis viennent celles de Chorolque, dont les installations sont susceptibles de produire par mois 450 t. de concentrés (barrilla).

En 1901, sur un total de 10 000 t., Oruro entrait pour 4 500, Chorolque pour 3 600, Potosi pour 1 500 et la Paz pour 400.

En 1907, la Bolivie a produit 16 606 t. d'étain pur (27 677 t. de barrilla à 60 p. 100), ainsi réparties par départements : Potosi (Chorolque, Cerro de Potosi, etc.), 9 786 t. d'étain; Oruro (Huanuni), 5 682; la Paz, 846; Cochabamba, 456. En 1908, Potosi a produit 18 500 t.; Oruro, 9 800; le Paz, 2 000; Cochabamba, 180.

Le district de Cochabamba, situé à l'extrémité Est du plateau Andin, est un nouveau centre de production datant de 1906. En 1908, des laveries nouvelles ont été organisées à Quimsa Cruz et à Colcha.

Australasie. — En 1907, la production s'est décomposée comme suit : Queensland 5 140 t ; Tasmanie 4 343 t. ; New South Wales 1 914 t. ; Australie Occidentale 1 624 t. ; Territoire du Nord, 400 t. ; Victoria 100 t.

En *Queensland*, la production de 1908 a été de 4 792 t. : le principal centre étant celui de Walsh et Tinaroo (Herberton). A la mine Vulkan, le minerai est aujourd'hui reconnu jusqu'à 420 m. de profondeur. On a également travaillé à la Great Northern Freehold Mine d'Herberton. Une extraction correspondant à une quarantaine de tonnes d'étain a été faite aussi à Bakerville.

La production de la *Tasmanie*, après une première période brillante en 1883, est actuellement en croissance nouvelle. Les 4 341 t. de 1907 y ont été ainsi réparties : Briseis, 1 025 t; Mount Bischoff, 793 ; New Brothers Home, 372 ; Pioneer, 388; Anchor, 224. En 1909, on a atteint 4 600 t.

De ces mines, seules la Mount Bischoff et l'Anchor exploitent des filons. En 1908, la production des alluvions dans le district de Derby (Briseis et New Brothers Home) a été de 1 500 t. (voir la figure 150) ; celle du Mount Bischoff, où les alluvions riches sont épuisées, de 930 t.

En *New South Wales*, on exploite méthodiquement par dragage les alluvions des districts de Tingha et d'Emmaville. A Tingha, la production (avec 28 dragues) est montée, en 1907, à 1 439 t. ; à Emmaville, à 413 t.

Cornwall. — Les exploitations très anciennes du Cornwall arrivent difficilement à maintenir leur chiffre de production.

Le Cornwall a produit, en 1910, 5 900 t. d'étain et, en 1909, 5 300 t. contre 5 200 t. en 1908. La production de 1908, évaluée en « étain noir » à 70-74 p. 100, a été ainsi répartie entre les principales mines : Dolcoath, 1 791 t. ; Carn Brea, 1 015 t. ; Basset, 725 t. ; East Pool, 720 t. ; Grenvill, 644 t. ; West Kitty, 292 t.

En 1910, la Dolcoath a broyé 47 300 t. de minerai tenant 1 800 gr. d'étain par tonne avec un bénéfice de 6,85 fr. par tonne. La South Crofty a broyé 60 900 t. pour avoir 630 t. d'étain, 127 t. de wolfram et 736 t. d'arsenic.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les principaux fondeurs ont été (1908) : Cornish Tin Smelting C°, 2 078 t. ; William Harvey et C°, 1 695 t. ; Cons. Tin Smelting (Chyandom), 1 520 t. ; Redruth, 881 t.

Avec les minerais importés, l'Angleterre a produit, en 1908, 21 150 tonnes d'étain ; en 1909, 20 630 t.

Chine. — La région stannifère du Yunnan, depuis longtemps célèbre, a été estimée, dans ces dernières années, pouvoir fournir 4 000 t. par an. Ces chiffres sont certainement à augmenter ; car, dès l'ouverture de la ligne de Yunnan Sen, l'exportation dans ce sens est montée à 4 700 t. en 1909, au lieu de 3 000 que l'on attendait. En 1911, on a atteint 6 400 t. de minerai à 70 p. 100.

Afrique du Sud. — La production stannifère de l'Afrique Australe, encore faible, paraît être en voie d'accroissement notable. Les gisements du Swaziland (Mc-Crecdy) ont exporté 535 t. en 1908-1909. Le district du Waterberg (Rooiberg, Groenfontein) peut en fournir 700 à 1 000 t. On cite la Rooiberg (Rustenburg) ayant produit 370 t. d'étain en 1910 avec des minerais à 5 p. 100 et la Groenfontein (730 t. d'étain en 1910).

On escompte également la production future de la Nigeria, où des champs d'alluvions, situés au Nord et au Sud de la Bénoué, doivent être atteints par la ligne Baro-Kano. L'exportation de 1910 a été de 500 t. de cassitérite.

Enfin, de grands gisements d'étain sont reconnus, mais inexploités, un peu au Nord des gîtes cuprifères du Katanga, au Sud du Lac Kabele.

Etats-Unis. — Aux Etats-Unis, il n'y a qu'un seul centre de production d'étain, presque insignifiant, en Caroline du Sud, ayant donné, en 1908, 50 t. de minerai concentré. On a fait également quelques essais à Hill City (Dakota du Sud), au Mont Franklin (15 km Nord de El Paso) au Texas ; et à l'Ouest de la presqu'île Seward, dans l'Alaska.

Indes. — Les seuls gisements d'étain exploités dans les Indes britanniques sont aux confins du Siam, dans la Birmanie inférieure (Ténassérim et Mergui). On en a extrait, en 1907, 70 à 80 t. valant 250 000 fr.

Bohême. — La Bohême figure encore sur la statistique de 1908 pour 39 t. d'étain.

Japon. — Au Japon, une petite mine a produit 23 t. d'étain en 1906, 3 t. en 1907.

GÉNÉRALITÉS SUR LA GÉOLOGIE DE L'ÉTAIN

La métallogénie de l'étain se présente dans des conditions particulièrement nettes et bien caractérisées, que nous allons commencer par résumer en quelques mots. Ce métal n'a pratiquement qu'un seul minerai, qui est le bioxyde ou cassitérite. Le mode de gisement, les associations, la synthèse de celle-ci, tout concourt à faire admettre, dans la majeure partie des cas, le départ de fumerolles chloro-fluorées émanées de magmas granulitiques et cristallisées dans ces roches ou à leur voisinage presque

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

immédiat, généralement dans les mêmes conditions de demi-profondeur et de phénomènes hydrothermaux associés aux phénomènes ignés, où se sont formés les granites à mica blanc et les pegmatites[1]. L'étain se trouve ainsi de préférence dans ces deux groupes de roches (granites à mica blanc et pegmatites) et dans les quartz de pegmatites qui en sont le terme extrême.

Cependant, à côté de ce type stannifère qui est, comme nous allons le voir, le type ordinaire dans les gisements d'âge primaire, on rencontre également, dans les gisements d'âge tertiaire, en Bolivie, au Mexique, des minéralisations d'un type moins profond se rattachant davantage au groupe des filons sulfurés concrétionnés, qui se montrent en relation avec des roches presque superficielles à type acide comme les liparites, les dacites, les rhyolites, dans lesquelles peuvent manquer les satellites fluorés habituels de l'étain pour faire place à une minéralisation exclusivement sulfurée. Nous verrons, en outre, que la remise en mouvement actuelle de la cassitérite est un fait, non seulement possible, mais sans doute assez souvent réalisé dans les parties hautes des filons et alluvions.

Si nous revenons au type habituel des gisements d'étain associés aux granites à mica blanc, il en résulte la localisation ordinaire de ce métal dans les chaînes hercyniennes, où cette catégorie de granites apparaît spécialement au jour, avec possibilité néanmoins d'en trouver aussi plus rarement dans les chaînes plus anciennes ou plus récentes. Suivant que le départ a été plus ou moins accentué, on a : d'abord, des inclusions stannifères dans la roche même, notamment à sa périphérie ; puis des réseaux de fissures en stockwerk dans la zone de contact du granite et des schistes encaissants ; enfin, plus rarement, à quelque distance de ce granite, des filons proprement dits. En même temps que l'on s'éloigne ainsi de la roche acide (ce qui a demandé des conditions de plus en plus exceptionnelles), on trouve des gisements de plus en plus réguliers et continus, industriellement plus favorables, qui se rapprochent des filons concrétionnés ordinaires par le développement du cuivre sulfuré, auquel peuvent s'associer ensuite d'autres sulfures de plomb, zinc, etc. La destruction superficielle de tous ces divers gisements et le remaniement purement mécanique de leurs produits ont donné lieu, pendant la période tertiaire, d'abord à des éluvions qui ne sont en réalité qu'une altération sur place, puis à de véritables alluvions à sables stannifères. Éluvions et alluvions ont constitué, jusqu'ici, la principale source pratique d'étain, mais tendent rapidement à s'épuiser.

Ces affirmations sommaires demandent à être précisées et discutées, d'autant plus que, la métallogénie de l'étain étant assez uniforme, une telle discussion permettra ensuite d'être plus bref sur les descriptions locales. C'est ce que nous allons faire maintenant.

Minerais de l'étain. — Je viens de rappeler que le seul minerai pratique de l'étain était un oxyde, la cassitérite, dont la teneur est de 78,6 p. 100 d'étain et le poids spécifique de 6,4 à 7,1.

[1] 1841. DAUBRÉE. *Mém. sur le gisement, la constit. et l'origine des minerais d'étain* (Ann. d. M., 3e, t. 20, p. 65; — 1849. Ann. d. M., 4e, t. 16, p. 29; — Géol. expérim., p. 29).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Cette particularité différencie aussitôt l'étain de la plupart des grands métaux, dont la forme de cristallisation ordinaire est sulfurée et qui ne présentent des combinaisons oxydées que superficiellement, par l'effet postérieur d'une altération secondaire. L'étain, au contraire, reste à l'état d'oxyde à toutes les profondeurs atteintes dans nos mines. L'étain natif n'a été signalé qu'à l'état de traces, et le sulfure, la stannine, qui associe l'étain avec du cuivre, du zinc et du fer, n'est qu'une rareté minéralogique. Ce dernier minéral accuse pourtant le rapprochement avec d'autres métaux sulfurés, que nous indiquions plus haut comme caractéristique des grands filons continus d'étain, dans lesquels ce métal s'accompagne toujours d'un certain nombre d'autres sulfures métalliques et où l'on peut admettre par suite que, outre les fumerolles chlorurées, les fumerolles sulfurées ont été amenées, elles aussi, à cristalliser. Par contre, la forme oxydée de la cristallisation habituelle rapproche l'étain d'un certain nombre d'autres corps que l'on trouve toujours également à l'état d'oxydes, souvent de bioxydes, à quelque profondeur que ce soit, comme des éléments de la scorie silicatée et qui, pour la plupart, apparaissent fréquemment dans les gisements d'étain eux-mêmes: le silicium, le tungstène, le zirconium, les terres rares, l'uranium, etc. Nous verrons tout à l'heure que le mode de cristallisation spécial de l'étain entraîne encore d'autres associations.

J'ai fait allusion plus haut à la *synthèse de la cassitérite*. Cette synthèse a pu être réalisée par diverses méthodes, où intervenaient les chlorures (courant de chlorure stannique rencontrant, au rouge, de la vapeur d'eau ; chlorure stannique sur de la chaux au rouge ; décomposition du fluorure stannique par l'eau ; acide chlorhydrique chauffé avec l'acide stannique en tubes scellés, etc.), et la synthèse d'un certain nombre de minéraux associés s'obtient par une méthode analogue. C'est pourquoi il est admis depuis longtemps que les chloro-fluorures ont dû prendre part à la cristallisation de l'étain[1] : ce qui, d'ailleurs, n'exclut en aucune façon, comme nous allons le voir plus en détail, l'association à ces fumerolles chlorurées d'autres fumerolles sulfurées ou même carburées et la cristallisation de la cassitérite par des réactions plus simples, dont nous donnerons des exemples en insistant sur les remises en mouvement contemporaines.

On a fait, il est vrai, quelques objections à cette théorie : l'existence, par exemple, de blendes entourées de cassitérite, alors que le fluorure d'étain aurait attaqué le sulfure de zinc, la rareté de la fluorine dans les filons du Cornwall, sauf dans des parties cuprifères, etc. L'ensemble des descriptions que nous allons donner nous semble néanmoins montrer, pour la plupart des gisements, le rôle des chloro-fluorures presque à l'évidence et nous signalons notamment, à ce propos, ce qui sera dit sur l'attaque des feldspaths, le développement de tourmaline, topaze et souvent fluorine au voisinage des filons d'étain. Il faut seulement faire une place, en outre, pour une cristallisation de la cassitérite, et peut-être de la stannine, simultanément avec les sulfures de cuivre, plomb, zinc, argent, etc., comme elle paraît s'être réalisée en Bolivie.

[1] Peut-être aussi les sels doubles de phosphore et d'étain.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Associations de l'étain. — Dans ses gisements primitifs du type le plus normal, l'étain s'associe à toute une famille de métaux et de minéraux, qui, sans se rencontrer bien entendu toujours complète dans chaque gisement, n'en est pas moins assez fréquemment représentée pour que la présence de l'étain donne l'idée de chercher ces autres métaux ou minéraux, et réciproquement. Ces associations de l'étain sont de deux genres : les unes propres au gisement de l'étain lui-même ; les autres, tenant seulement à ce que l'étain accompagne d'ordinaire les granites à mica blanc du groupe des granulites, et plutôt liées à ces granulites qu'à l'étain.

Comme métaux associés à l'étain, j'ai déjà cité le silicium, le tungstène, le zirconium, les terres rares, l'uranium. Le lithium sous des formes diverses, lépidolithe, triphane, amblygonite, est également très fréquemment représenté dans ces gisements[1]. On peut ajouter quelques autres métaux, différenciés de l'étain par la forme sulfurée qu'ils conservent en profondeur, mais néanmoins, eux aussi, intimement liés d'ordinaire aux granulites : le molybdène d'abord, qui est surtout développé dans les pegmatites, quartz, ou filons de cuivre quartzeux ; le cuivre à gangue quartzeuse, compagnon très habituel de l'étain dans ses gisements filoniens proprement dits ; le bismuth, qui peut s'écarter davantage du groupe stannifère pour trouver place également dans les filons sulfurés plombifères ; enfin, l'or, qui a également d'autres gisements tout différents, mais qui, dans tout un groupe de filons, se rapproche curieusement de l'étain.

Le rapprochement de l'étain et de l'or, qui est si accusé par leurs conditions de gisement, se traduit par l'existence de quelques pépites aurifères renfermant de l'étain métallique[2]. On en a trouvé à diverses reprises dans l'Approuague (Guyane), en Nouvelle Galles du Sud, en Sibérie, etc.

Citons encore le mispickel et la pyrite de fer, éléments très fréquents des filons de cassitérite. Au contraire, l'antimoine, malgré des conditions de gisement qui, nous le verrons, rappellent beaucoup celles de l'étain, et qui entraînent l'existence de stibines aurifères, ne s'associe guère à lui. Il en est de même du cobalt, malgré ses relations avec les magmas granitiques acides.

On trouve, d'autre part, dans les filons d'étain, tout un groupe de phosphates qui sont d'ordinaire des chloro ou fluo-phosphates : l'apatite, la wawellite, la montebrasite, l'amblygonite ; puis des fluorures, comme la cryolite, ou la fluorine[3], dont la place est également dans le groupe sulfuré plombifère.

Enfin, la relation avec les granulites entraîne la présence de minéraux habituels à ce type de roches : la tourmaline, l'émeraude, la topaze, le grenat ; elle provoque, en même temps, le développement de certains minéraux alcalins, comme les micas lithinifères[4].

[1] Voir le chapitre du lithium.

[2] 1861. Damour. (C. R., t. 102, p. 638.) — Lacroix. *Min. de la France* (t. 2, p. 389).

[3] Voir le chapitre du fluor. La fluorine abonde à Graupen (Pöbel).

[4] Je mentionne, à titre simplement empirique, le développement fréquent, sur les affleurements d'étain, de substances jaunâtres dues à la décomposition des feldspaths et la kaolinisation habituelle des granulites au contact de ces affleurements. Ce kaolin devient souvent un élément industriel (Carclaze au Cornwall, etc.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

De ces associations, quelques-unes sont extrêmement fréquentes, comme celles de la cassitérite avec le quartz, le wolfram et le mispickel, ou le cuivre ; les autres, un peu moins générales.

Je rappelle, en outre, que, contrairement à ce que pourraient faire croire certaines théories trop simplifiées, il est normal de rencontrer, dans un gîte d'étain, toutes les fois qu'il passe à un véritable filon, une proportion de métaux sulfurés, qui tend à s'accroître à mesure que le type filonien se caractérise. D'abord, ce sont simplement, la pyrite de fer, le mispickel ; puis la molybdénite et la chalcopyrite ; puis la blende qui, au Cornwall, est parfois enveloppée par la cassitérite ; puis la galène. On a des exemples remarquables de ce passage dans le district d'Herberton au Queensland et l'on y voit, en même temps, le filon prendre une allure concrétionnée. Même en dehors des gisements d'étain, il n'est pas rare, comme j'ai eu l'occasion de le montrer ailleurs, que des blendes, lorsqu'elles paraissent avoir une relation un peu directe avec des magmas granitiques, gardent des traces d'étain [1].

Non seulement les sulfures, mais les carbonates, semblent représentés dans les filons d'étain : notamment par la sidérose, en admettant, comme cela semble souvent bien vraisemblable, que celle-ci n'y soit pas un produit secondaire.

On trouve, par exemple, la sidérose dans les filons du Mount Bischoff en Tasmanie, dans le filon de cryolite d'Evigtok au Groenland, etc.

L'ordre de succession des minéraux associés dans le groupe de l'étain a été étudié par Beck, en Saxe, et représenté par lui au moyen de schémas. Certains traits semblent variables d'un point à l'autre et il y a peut-être inconvénient à les systématiser. On peut seulement classer : dans un premier groupe, la molybdénite et le mica lithinifère ; le quartz et la topaze ; la cassitérite et le wolfram ; le mispickel ; puis, dans une seconde venue, et vers le moment où cesse la cristallisation du groupe quartz-mispickel, apatite, fluorine, sidérose, blende, etc.

Nous donnerons également l'ordre à la Villeder (Morbihan) : émeraude, cassitérite, quartz, apatite, etc., avec anomalies fréquentes. Mais ces classifications théoriques, variables d'un point à l'autre, sont, en outre, fréquemment modifiées, sur un même point, par les réapparitions du quartz et de la cassitérite en plusieurs phases.

Enfin, à côté de ces types normaux, on constate (il est vrai à l'état de traces) une dissémination de l'étain, qui le fait apparaître parfois dans des gisements très différents de ceux où il a subi une concentration suffisante pour devenir exploitable.

Ainsi, du côté basique, dès 1833, Berzelius a reconnu sa présence dans un péridot de météorite. Il n'est pas rare non plus de rencontrer une trace d'étain dans un gisement de pyrite, pyrrhotine, etc., où ce métal se trouve alors curieusement juxtaposé avec du platine ; ou, quand l'étain n'a pas été signalé, on trouve parfois, dans les analyses, l'indice d'un autre métal ordinairement associé à l'étain, comme le bismuth.

A Boccheggiano, en Toscane, la pyrite de fer renferme des traces d'étain et du bismuth. Les pyrrhotines nickelifères de l'Ontario contiennent de

[1] 1910. (B. S. G. F., 4 Déc.) Voir plus haut, tome 1, page 160.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'étain. Au Rammelsberg, dans le Harz, on a exploité de l'étain dans le chapeau de fer du filon pyriteux. J'ai rapporté également son apparition dans les blendes de filons nettement concrétionnés, telles que celles de la formation pyriteuse de Freiberg, du Suelza dans les Pyrénées espagnoles, ou dans les imprégnations blendeuses des terrains cristallophylliens (Ammeberg, Sterzing, etc.). A Freiberg, Stelzner et Schertel ont montré que la blende noire renferme souvent des microlithes de cassitérite[1].

Dépôts récents et remises en mouvement. — On affirme avoir reconnu de la cassitérite de formation contemporaine dans certains dépôts de source chaude, formés principalement d'opale analogue à la geysérite, qu'Errington de la Croix avait recueillis en Malaisie, près de Chéras, à Azer Panas, sur des ossements de cerf à Pentewan, au Cornwall[2], dans les alluvions du Mexique à Tepezala.

A ces observations correspond la possibilité d'une *remise en mouvement*, qui étonne d'abord quand il s'agit de l'étain et qui semble pourtant avoir contribué à des modifications superficielles constituant un véritable chapeau d'étain[3]. Les gisements de Bolivie notamment paraissent, d'après les observations de Stelzner[4], avoir subi une telle transformation secondaire, qui y a nourri les cristaux de cassitérite aux dépens d'autres cristaux microlithiques, d'abord englobés dans la galène ou le quartz (Oruro) et dont on voit parfois la place vide (Milluni). Ainsi notamment se serait constitué le minerai concrétionné, dit étain de bois, qui ne se trouve jamais que dans les parties hautes.

Variations de composition des filons stannifères en profondeur. — Les grands filons d'étain sont un des cas où l'on a cru apercevoir et décrit souvent comme un fait absolu une variation de la composition en profondeur, amenant par exemple une différence dans la proportion relative des métaux associés, tels que le cuivre et l'étain. Un tel fait, j'ai déjà eu l'occasion de le dire, n'offrirait rien d'invraisemblable en lui-même[5]. Surtout avec un tel métal, dont la zone de cristallisation semble aussi strictement limitée, et dont l'association avec le cuivre sulfuré dépend d'un rapprochement assez particulier des fumerolles sulfurées et fluorées, il n'y aurait rien d'illogique à ce qu'un faible accroissement de profondeur correspondît à une variation dans ces conditions et, par suite, à une minéralisation différente. Mais ce qui est logiquement possible n'a été constaté que d'une façon discutable et contradictoire suivant les points. Ainsi le changement si remarquable que nous aurons l'occasion de citer à

[1] 1886. Stelzner et Schertel. *Ueber den Zinngehalt der Schwarzen Zinkblen de von Freiberg* (J. f. d. B. u. H. im K. Sachsen).

[2] St. Meunier. (C. R., 27 mai 1890.) — Le cas des cornes de cerf a été contesté à la suite de nouvelles analyses par Scrivenor, géologue des Etats Malais. Il s'agirait, suivant lui, d'une très fine introduction mécanique dans des parties poreuses.

[3] L'étain a été signalé dans les eaux de Bruckenau, Kissingen, etc. On signale également au Transvaal (Waterberg) de la calcite secondaire avec cassitérite disséminée.

[4] 1897. Stelzner. *Ein Beitrag zur Geschichte des Zinnerzes* (Z. d. D. geol. G., p. 51-142).

[5] Voir plus haut tome 1, p. 165.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

la mine Dolcoath, où l'on est passé du cuivre à l'étain, peut s'expliquer par le passage du schiste dans le granite, qui a eu lieu au même moment. Ailleurs, en Traz-os-Montes, nous verrons qu'on a eu inversement de belle cassitérite à la surface et, plus bas, un peu de chalcopyrite et de blende[1]. Dans le district d'Herberton, le Lancelot Lode, d'abord très riche en étain, a passé plus bas à un remplissage plombifère pauvre en étain. En Bolivie, l'étain a été abondant au voisinage de la surface pour passer plus bas à un remplissage sulfuré.

Enfin, dans un certain nombre de gisements européens, il semble y avoir eu, aux affleurements, une richesse en étain disparue ensuite, soit que la concentration de l'étain ait été seulement relative par élimination des sulfures, soit qu'il y ait eu concentration secondaire de l'étain lui-même par remise en mouvement secondaire. Le fait est historiquement prouvé pour le chapeau de fer du Rammelsberg et aux environs de Freiberg, où l'on a exploité autrefois de l'étain disparu. Il semble bien s'être passé quelque chose d'analogue pour les exploitations étrusques de la région de Campiglia Marittima, en Toscane, et c'est ainsi encore que l'on est tenté d'expliquer, par un véritable chapeau d'étain superficiel, ce qui s'est produit en Bolivie.

Nature du terrain encaissant. — Le terrain encaissant a eu, comme toujours, une influence sur la disposition de la minéralisation. Le plus grand nombre des filons d'étain sont encaissés dans les roches cristallines dont ils dérivent directement et qu'ils ont à leur tour imprégnées, ou encore dans les schistes et quartzites voisins. Le nombre des gisements encaissés dans les calcaires est assez rare (Campiglia Marittima, Chongkat Pari à Malacca, Ko-tiou au Yunnan, Bergiesshübel et Schwarzenberg, Cassiterite Creek en Alaska), et il en résulte, comme nous le verrons, des types assez spéciaux tenant en partie à ce que la pyrite de fer connexe s'est, dans les calcaires, plus facilement transformée en oxyde de fer.

Roches associées à l'étain et roches transformées par la venue stannifère. — Sauf pour quelques gisements tertiaires, comme ceux de Bolivie et du Mexique, où il peut y avoir relation avec des dacites, rhyolites, etc., les roches associées à l'étain sont à peu près toujours d'un type granitique alcalin et acide, dans lequel les quartz tendent à s'isoler en éléments de première consolidation et où apparaissent fréquemment les micas blancs et les micas lithinifères. C'est le type, parfaitement individualisé et très important en métallogénie, que l'on appelle en France les granulites. Ces roches peuvent prendre divers facies, à quelques-uns desquels se rattachent des types différents de gisements stannifères. On aura parfois de véritables granulites cristallines et homogènes à inclusions de cassitérite disséminées dans toute la masse. Sur la périphérie de telles granulites, vers leur contact avec les schistes ou dans ces schistes même, on trouvera aussi des roches montrant l'intervention de minéralisateurs plus

[1] Tome 2, page 37.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

actifs, à gros éléments : roches passant à des pegmatites, dans lesquelles l'étain formera souvent des stockwerks. Enfin, l'on arrive parfois à des types beaucoup plus voisins des granites ordinaires et pauvres en mica blanc, qui accompagnent certains grands filons stannifères ; ou, au contraire, à des granulites porphyroïdes déjà très voisines des microgranulites (avec lesquelles nous trouverons plus tard des filons d'antimoine). Exceptionnellement, on a une relation possible avec des trachytes. En résumé, la cristallisation de l'étain ne semblant avoir pu se réaliser qu'à une certaine profondeur, parce que les fumerolles stannifères n'étaient pas assez stables pour supporter un refroidissement sensible, on doit naturellement trouver, associées avec l'étain, des structures de roches abyssiques ou hypo-abyssiques (granitiques ou, exceptionnellement, presque microgranitiques), beaucoup plutôt que des structures microlithiques en rapport avec des intrusions superficielles ou avec des épanchements au dehors.

Mais, parmi les structures grenues, il peut y avoir des types pétrographiques différents, déterminés notamment par des endomorphoses de sédiments refondus. C'est ainsi qu'on pourrait concevoir de l'étain lié aux granites à amphibole. Ce cas, s'il se rencontre, est rare.

Cette relation très nette de l'étain avec des magmas granitiques semble bien se traduire par un phénomène, sur lequel nous avons déjà attiré l'attention et auquel sa répétition en diverses parties du monde enlève le caractère accidentel qu'on aurait pu lui attribuer sans cela. On constate, au moins dans trois cas, au Cornwall, au Yunnan et en Toscane, l'existence, autour de noyaux granitiques, d'auréoles successives, qui groupent : d'abord les filons d'étain et les pyrites, puis les filons concrétionnés de plomb et de zinc ; enfin les gîtes mercuriels [1].

A ce phénomène correspond parfois une modification dans la nature de la cristallisation à mesure que l'on s'éloigne du noyau granitique originel. Peut-être faut-il interpréter ainsi ce qui s'est passé au Great Flat Lode de Dolcoath en Cornwall, où le remplissage, absolument stannifère dans les granites, devient cuprifère quand le filon passe dans les schistes encaissants. Peut-être encore pour une raison analogue, on a observé également dans l'Erzgebirge, qu'un système filonien était stannifère à l'Ouest du Wildsberg, tandis qu'il passe à l'Est à un type cuprifère riche en galène et en blende.

Dans un ordre d'idées un peu différent, il faut ajouter que les roches granitiques liées à l'étain ont souvent pris, au contact des veines stannifères, une structure très spéciale pouvant tenir parfois en partie à un commencement de différenciation acide, mais le plus souvent due à une action des fumerolles acides qui ont apporté l'étain sur les éléments déjà cristallisés. C'est ainsi que la pauvreté en feldspath y est un signe aussitôt apparent : ce que l'on explique en voyant parfois (Carclaze, Michaels Mount, etc.) des cristaux de cassitérite implantés sur des feldspaths auxquels ils se sont substitués, et ce qui a pu également préparer la kaolinisation plus facile de ces feldspaths là où ils avaient été

[1] Voir *Métallogénie de l'Italie*, p. 9, 76 et fig. 2. — *Richesses minérales de l'Asie*, p. 749. — Cf. plus haut tome 1, p. 250.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

conservés[1]. De là résultent toutes ces roches, auxquelles les mineurs d'étain ont donné des noms différents dans les divers pays, mais que tous ont également remarquées, et qui sont un exemple intéressant d'actions métamorphisantes causées par des venues filoniennes.

Le contact des veines stannifères est très souvent marqué, sur quelques centimètres de large, parfois sur beaucoup plus, par la production d'une roche spéciale, appelée suivant les pays *greisen*, *zwitter*[2], *schorl*, etc., qui se caractérise essentiellement par l'attaque ou la disparition des feldspaths et par la substitution de minéraux appartenant au groupe stannifère, comme la cassitérite, le wolfram, le mispickel, la tourmaline, la topaze, le quartz, le mica lithinifère, la fluorine, etc. On cite, par exemple, à Graupen, un filon d'aplite transformé en greisen sur plusieurs mètres. A S[t]-Agnès en Cornwall on a également des pseudomorphoses classiques, etc.[3]. De tels zwitter peuvent devenir de véritables minerais.

Cette attaque de roches ou terrains par des fumerolles fluorées du groupe stannifère y a parfois provoqué un développement de tourmaline, de topaze, de fluorine, qui achève d'éclairer sur l'origine même des gisements d'étain. On cite, par exemple : le cas du Mount Bischoff, en Tasmanie, où des schistes sont, dans une large zone, près du gisement d'étain, entièrement tourmalinisés; celui d'Eibenstock dans l'Erzgebirge saxon, où, sur 0,50 m, de large, la roche encaissante a été pénétrée de quartz, tourmaline, cassitérite, pyrite de cuivre et traces d'or; celui de Schneckenstein dans la même région, ou il s'est développé aussi de la topaze; les calcaires critallins de Bergiesshübel, où le même phénomène a produit de la fluorine.

Il ne serait pas impossible que cette pénétration de substances fluorées dans les granites qui encaissent les filons d'étain y ait facilité plus tard les progrès de la kaolinisation superficielle. En toute hypothèse, celle-ci est un phénomène très fréquent sur les affleurements stannifères. Outre la production de véritables kaolins exploitables, elle a déterminé la production de gîtes spéciaux, qualifiés d'éluvions, dont le Mount Bischoff, en Tasmanie, fournit de bons types : gîtes, où la roche détruite met en liberté, dans des sortes d'éboulis, la cassitérite facile à séparer par un lavage.

[1] Le phénomène de la transformation d'orthose en cassitérite a été étudié par PHILLIPS (Jahresbericht für Chemie, 1875, p. 1249; cf. Ann. d. M., 7[e] série, t. 13, p. 516). — On voit, au microscope, le mica, le quartz et la tourmaline pénétrer l'orthose en même temps que la cassitérite. Un phénomène de métamorphisme analogue a transformé le granite ou la granulite en une roche spéciale aux gîtes d'étain, le greisen, composée de quartz, de mica et de cassitérite, comme on a pu l'observer particulièrement à Cligga, en Cornwall. (Ann. des M., 7[e], t. 13, p. 522). Voir également BECK, *loc. cit.*, t. 2, p. 30.

[2] Les granites altérés peuvent s'appeler greisen ou zwitter; les roches non granitiques seulement zwitter.

[3] 1884-1885. SCHRÖDER. *Erläuterungen zur Sectionen Eibentock, Falkenstein* (Leipzig) et BECK, t. 2, p. 30 à 34.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ORDRE ADOPTÉ POUR LA DESCRIPTION. — TYPES DE GISEMENTS STANNIFÈRES

Il est rare, nous l'avons dit, de rencontrer pour l'étain le type des grandes cassures tectoniques, à remplissage hydrothermal régulièrement concrétionné, qui est si fréquent pour le groupe du plomb et du zinc, mais qui disparaît lorsqu'on s'écarte, dans les deux sens, de ce type métallogénique : soit vers la profondeur pour l'étain ; soit vers la surface pour le mercure. Souvent on n'a affaire qu'à une dissémination d'inclusions stannifères dans le granite lui-même, qui a toujours, en ce cas, une tendance à l'exagération des minéraux individualisés, feldspath, quartz et mica blanc. Notre figure 130 montre, par exemple, la cassitérite associée avec du quartz et de la muscovite au même titre que ces minéraux. Maintes fois, la concentration principale s'est faite sur la périphérie de ce granite, dans une zone où il a pris une structure pegmatoïde spéciale. On passe ainsi aux apophyses pegmatoïdes, dans lesquelles l'étain est un élément constituant au même titre que les autres minéraux habituels de la roche. Puis, comme terme extrême de la pegmatite, mais avec la même allure, on a des filons de quartz en stockwerk, ou en « tinfloors », en réseaux irréguliers et capricieux, dont chaque élément n'a qu'une existence précaire. Pegmatites stannifères et quartz à cassitérite se ressemblent pour la plupart. Il suffit d'avoir observé, dans un terrain primaire comme ceux du Plateau Central, quelques filons de pegmatite stérile en étain, avec leurs branchements, leurs veines sans continuité, leurs interstratifications locales dans les schistes et, dans l'intérieur des pegmatites, la disposition incohérente des divers minéraux, par exemple de la tourmaline ou du mica, qui s'accumulent par paquets ou se disséminent par grains dans une masse de feldspath ou de quartz, pour concevoir la disposition tout à fait analogue de la cassitérite. Celle-ci s'implante sur des feldspaths, se noie dans des quartz, s'associe à des zones de mica, etc. Très rarement, enfin, les filons offrent l'allure relativement régulière qui a fait l'antique et persistante fortune de certains points du Cornwall (tin lodes).

D'après notre méthode habituelle nous devrions étudier tous ces gisements d'étain en nous écartant progressivement de leur point de départ igné : ce qui nous amènerait à considérer : d'abord des inclusions dans le granite, puis des pegmatites stannifères, des gîtes de contact, des stockwerks de filons quartzeux, des filons proprement dits, des éluvions, enfin des alluvions.

Parmi ces gisements, les éluvions et même les alluvions se rattachent si directement aux gisements primitifs qu'il nous a paru y avoir plus d'inconvénients que d'avantages à en faire l'étude séparée. Leurs caractères généraux sont, du reste, toujours à peu près les mêmes et ont été décrits au chapitre XI, à l'occasion des gisements détritiques. Nous résumerons, dans un paragraphe final, ce qu'il peut rester à en dire de particulier[1].

En ce qui concerne les diverses catégories de gisement primitifs, nous ne nous attacherons pas à maintenir dans le détail une classification rigoureuse qu'il suffira d'avoir précisée en commençant par quelques exemples et de rappeler ensuite à l'occasion. Il arrive, en effet, souvent que les divers

[1] Page 74.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

types passent des uns aux autres dans un même district par des transitions insensibles, et, sans parler de la simplification pratique qui en résulte dans la description, il est utile, même théoriquement, de mettre ce lien en évidence, sans paraître attacher trop d'importance à des différences de détail qui sont souvent de simples cas d'espèces. Les trois types essentiels, dont nous nous contenterons de donner les caractères généraux, sont : 1° les inclusions ; 2° les pegmatites stannifères ; 3° les filons de départ plus ou moins accentués.

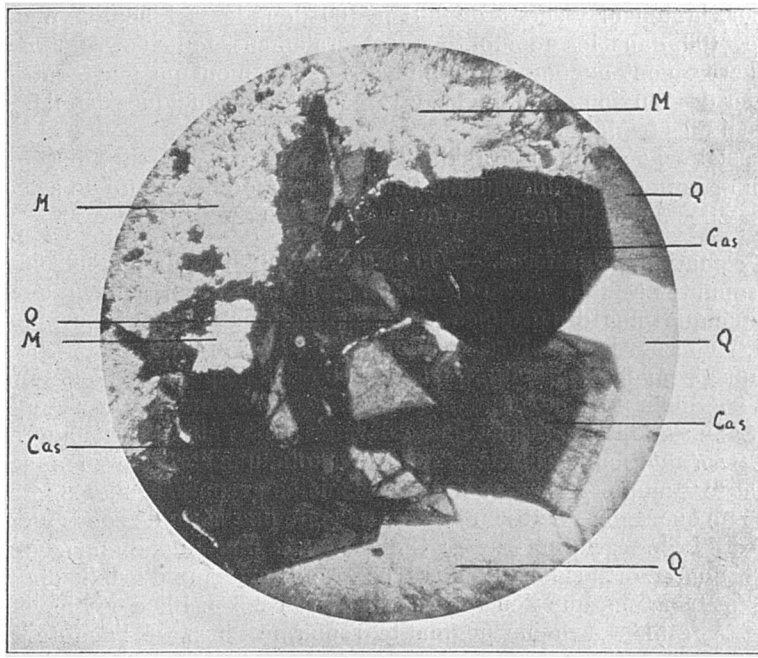


Fig. 130. — Minerai d'étain de Cacérès. Grossiss^{t} : 50 D. : nicols croisés.
Cas, cassitérite ; Q, quartz : M, muscovite.

1° Inclusions d'étain. — Quand nous décrirons les filons d'étain, nous verrons assez fréquemment les venues stannifères imprégner les roches encaissantes (greisen de Saxe, schorl du Cornwall, porphyre quartzifère de Tasmanie, etc.), et parfois ces roches, surtout quand elles ont été kaolinisées, peuvent donner lieu à une exploitation. Nous ne nous occuperons pas ici de ce genre d'inclusions épigénétiques, mais seulement des inclusions primaires, que l'on peut considérer comme restées dans la roche mère dont dérive l'étain.

Ce métal, presque toujours en relation directe, comme nous l'avons dit, avec une granulite, se trouve très fréquemment disséminé, à l'état d'imprégnation, dans cette roche. Sandberger a montré sa présence, à l'état microscopique, dans certains micas lithinifères, dans les lépidolithes de Paris (Etat du Maine), d'Uto (Suède). Dans ces micas, l'acide

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

stannique peut se substituer à la silice, tandis qu'il manque, au contraire, dans les micas foncés [1]. Nous avons également signalé des inclusions stannifères dans les blendes [2].

Même visible à l'œil à nu, l'étain se rencontre souvent dans les granulites, en particulier dans toutes celles qui ont des filons stannifères à leur périphérie. Ainsi, à Montebras (Creuse), la masse de la granulite en contient près de 1/2 p. 100.

On retrouve de l'étain dans le granite à tourmaline d'Eibenstock (Erzgebirge), autour duquel se trouvent diverses mines d'étain. D'après Stelzner, la teneur y serait de 0,01 p. 100 dans les feldspaths, mais de 0,32 p. 100, dans les lépidolithes. Généralement, toutes ces inclusions stannifères n'ont aucune valeur industrielle et n'ont pu que contribuer à former des éluvions ou alluvions. Cependant, en quelques points, on a essayé de les exploiter.

Tel est le cas au mont Franklin (Texas), où la cassitérite, disséminée dans un granite, est remarquable par la pâleur de beaucoup de ses cristaux, faciles à confondre avec d'autres minéraux.

2° Pegmatites stannifères. — On passe, par une transition insensible, des granulites à étain aux pegmatites stannifères, qui sont fréquentes dans quelques-uns des groupes étudiés plus loin. Comme type intermédiaire, sinon par la structure, du moins par l'allure de la roche, on peut citer un gisement américain, qui a été l'objet d'une petite exploitation, où l'on recherchait à la fois, comme à Montebras et comme en divers points de la Saxe, l'étain et la lithine (cette dernière ici à l'état de triphane).

A *Etta Knob*, dans les Black Hills du Dakota, une sorte de cheminée de pegmatite stannifère recoupe des micaschistes grenatifères avec intercalations de quartzites. Cette cheminée présente une série de zones concentriques qui, de la périphérie au centre, sont : une bande micacée, puis une de quartz, orthose et calcite, avec grands cristaux d'un silicate lithinifère, le triphane, que l'on utilise, et environ 2,5 p. 100 d'oxyde d'étain en petits grains. La même pegmatite renferme aussi de l'apatite, de la tantalite, de la columbite, du mispickel et de la chalcopyrite.

C'est également, nous l'avons vu, une sorte d'enclave dans une pegmatite que le gisement de cryolite d'*Evigtok*, où la cassitérite s'associe à de la sidérose, du wolfram, de la fluorine et des sulfures divers [3].

On peut encore comparer aux pegmatites stannifères, les syénites néphéliniques qui s'en rapprochent à tant d'égards en métallogénie, notamment par le développement de la soude. On connaît, par exemple dans la *Sierra de Tingua*, au Brésil, une syénite néphélinique avec tourmaline et cassitérite [4].

3° Filons de départ au voisinage des granites, dacites, etc. — Si l'étain a pu rester englobé dans la roche ignée granitique, ou dans la pegmatite dont le mode de cristallisation participe déjà des phénomènes

[1] 1878. Sandberger. (Sitzungs B. K. K. Ak. Wiss. zu München). — Cf. Revue de géol. (Ann. d. M., 7e, t. 17, p. 73). — 1885. *Unters. über Erzgänge*, t. 2, p. 168.

[2] Voir tome 1, pages 139 et 160.

[3] Voir tome 1, page 312.

[4] Voir, à ce sujet L. De Launay, *Note sur les filons d'Andavakoera* (B. S. G. F., 1910).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

hydrothermaux, les gisements de cette sorte ont rarement atteint un degré de concentration suffisant pour motiver une exploitation fructueuse. Cette concentration n'a pu être réalisée que par le départ des fumerolles volatiles entraînant l'étain, et celles-ci, comme les fumerolles sulfurées auxquelles nous rattacherons des gisements d'autres métaux, mais plus encore parce que leur départ a été moins prononcé, se sont volontiers concentrées à la périphérie des roches acides sous le couvercle de terrains, généralement schisteux, qui les enveloppaient. Ainsi se sont formés toute une série de gisements, dont les types peuvent différer suivant les circonstances locales d'intrusion granitique et de fissuration qui ont facilité la cristallisation de l'étain, mais dont l'origine est toujours la même.

Tantôt la zone périphérique de la granulite sera traversée d'innombrables fissures en réseau, qui peuvent même s'étendre aux terrains encaissants. C'est un type que nous trouverons fréquemment dans l'Erzgebirge, au Cornwall, etc.

Ailleurs, on aura une zone métallifère de contact, presque comparable aux gîtes de contact du Banat (type Pitkäranta, Schwarzenberg, Bakerville au Queensland, ou Alaska).

Enfin, la cassitérite peut se localiser dans des filons quartzeux plus ou moins complexes, où les sulfures se développent en commençant par le cuivre, le bismuth ou le molybdène et continuant par le zinc. Elle se présentera alors dans des conditions presque comparables à celles des filons concrétionnés plombifères, passant du granite ou de la dacite aux terrains encaissants, sauf à subir de l'un à l'autre des modifications.

Dans tous ces cas, il est visible que la métallisation stannifère, tout en étant liée à la mise en place de la roche acide, en représente surtout une dernière étape : le départ ayant pu commencer par des pegmatites parfois stannifères et s'étant continué par des quartz stannifères, qui devaient émaner de parties internes encore chaudes à travers une croûte déjà cristallisée, en exerçant sur celle-ci le métamorphisme classique, par lequel se constituent les greisens et se substitue la cassitérite au feldspath.

Comme nous l'avons déjà dit, tout ces divers types de gisements, que nous préciserons notamment à propos du Cornwall et de l'Erzgebirge, se trouvent parfois rassemblés dans les mêmes districts. Nous allons donc les décrire simultanément par groupes géographiques en envisageant : d'abord des venues d'étain primaires de l'Europe, de l'Asie et de l'Australie (parcourues de l'Ouest à l'Est), puis de l'Afrique et de l'Amérique, et ensuite les types les mieux caractérisés de venues tertiaires. Nous terminerons par quelques indications générales sur les éluvions et alluvions.

A. — ÉTAIN PRIMAIRE D'EUROPE

PITKÄRANTA (FINLANDE)[1]

Le gisement de Pitkäranta est intéressant : à la fois, comme représentant un cas assez rare de minerai d'étain (d'ailleurs sans valeur indus-

[1] Coll. Ec. d. M., 2952. — 1891. Törnebohm. *Pitkäranta Malmfält* (Geol. för, n° 137. — 1907. O. Trüstedt. *Die Erzlagerst. von Pitkäranta* (Bull. Comm. géol. Finlande, n° 19; 333 p. avec bibl. et carte).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

trielle) dans une plateforme primitive et comme nous offrant cet étain à l'état d'élément accessoire dans l'association de la magnétite, de la chalcopyrite et des sulfures à gangue silicatée qui caractérise le type Banat. A cet égard, il convient aussitôt de le comparer au gisement de Schwarzenberg en Saxe, qui sera décrit un peu plus loin. Dans la même région, en Finlande, nous verrons que le gisement d'Orijärwi présente, dans des conditions tout à fait analogues, avec de l'étain et du cuivre, sinon de l'étain, du moins son homologue, le molybdène.

A Pitkäranta, sur le bord Nord du lac Ladoga, il existe trois bancs de cipolin magnésien au milieu de schistes micacés et amphiboliques et de gneiss, le tout recoupé par un granite-rapakiwi. Dans les cipolins, et plus rarement dans les schistes, se trouvent un certain nombre de lentilles métallifères interstratifiées, contenant de la cassitérite, de la magnétite et des sulfures de fer et de cuivre, avec plomb, zinc ou bismuth accessoires associés à des silicates. Ce développement de l'étain, auquel correspondent également ici la schéelite et le bismuth, se retrouve dans quelques filons de pegmatite qui renferment de la cassitérite et de la chalcopyrite. Avec l'étain apparaissent un peu de fluorine et de topaze. La cristallisation de la cassitérite paraît s'intercaler entre celles de la magnétite et de la chalcopyrite.

La gangue de silicates comprend, comme d'habitude : salite, grenat, épidote, grammatite, vésuviane, chondrodite. Il est probable que tout l'ensemble des phénomènes se rattache à l'intrusion du granite rapakiwi.

On a extrait de ce gîte, entre 1814 à 1904, 250 000 t. de minerai de fer, 6 617 t. de cuivre, 481 t. d'étain et 11,2 t. d'argent.

CORNWALL (ANGLETERRE)[1]

Les mines d'étain du Cornwall (ou Cornouailles), connues dès la plus haute antiquité, et déjà fameuses à l'époque romaine, sont encore

[1] Coll. Ecole des Mines, 1016, 1528, 1803, 2933.

1778. Price. *Mineralogia cornubiensis.* — 1803. Bonnard. *Sur l'étain du Cornwall* (J. de min., t. 14, p. 443). — 1811. Berger. *On the phys. St. of Devonshire and Cornwall* (Trans. géol. Soc.). — 1813. Thompsom. *Obs. min. on Cornwall* (An. of phil., t. 2, p. 247). — 1839. De la Bèche. *Report on geology of Devon and Cornwall* (Tr. géol. Soc.). — 1840. Sedgwick and Murchison. *On the phys. str. of Devonshire* (Tr. geol. Soc., 2e, t. 5, p. 633-704, pl. 50 à 58, carte). — 1843. Henwood. *On the met. dep. of Cornwall and Devon* (Trans. géol. Soc. of Cornwall). — 1845. Daubree. *Gites d'étain* (Ann. d. M., 3e, t. 20, p. 65). — 1858-63. Moissenet. *Prép. méc. du minerai d'étain dans le Cornwall* (Ann. d. M., 5e, t. 14, p. 77) ; 1862. *De l'extraction dans les mines du Cornouailles.* (Ibid.) ; 1863. *Etude sur les filons du Cornouailles* (Ibid.). — 1876-78. C. Le Neve Foster. *Note on the deposit of Tin-ore at Park of mines Saint-Colomb, Cornwall* (Brit. Ass. for the Adv. of Sc.) ; *On the great flat lode South of Redruth and Camborne and on some other Tin deposits formed by the alteration of granite* (Q. J. G. Soc. Lond., t. 34, p. 640) ; *On some tin Stockwerks in Cornwall* (Q. J. g. Soc. Lond., t. 34, p. 654). — 1879. Helmhacker. *Allg. über das Zinnerz Vork. in Cornwallis* (Oestr. Zeitschr., p. 473, 500, 509, 524). — 1879. *Die Bergwerke von Devonshire und Cornwall* (B. u. H. Z., p. 374). — 1893. Demaret. *Prép. méc. des min. d'étain dans les Cornouailles* (Rev. un., t. 21, 3e, p. 28). — 1903. Mc. Alister. *A cross-section and some notes on the Tin dep. of Camborne* (Tr. geol. Soc. Corn.). — J. B. Hill. *Plutonic Rocks of W. Cornwall in their relation to the mineral ores* (Tr. geol. Soc. Cornw., t. 12, p. 588). — Collins. *Seven Centuries of Tin prod. in the west of England* (Tr. min. As. of Cornw., t. 3). — 1908. Baldauf. *Die Zinnerzgruben in Cornwall bei Redruth und Camborne* (Oest. z. f. B. u. H., 11 janv.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

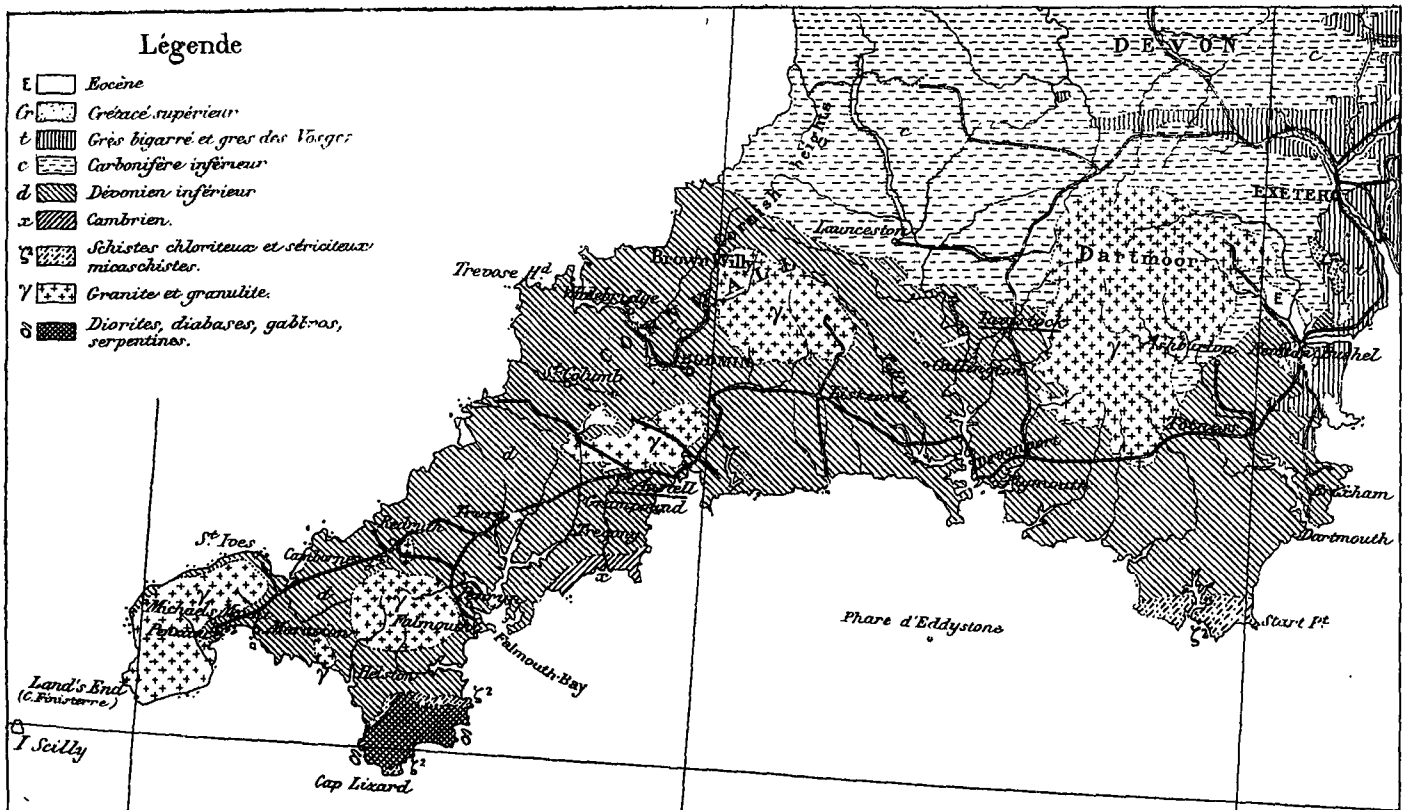


Fig. 131. — Carte géologique du Cornwall au 1/1 000 000e.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

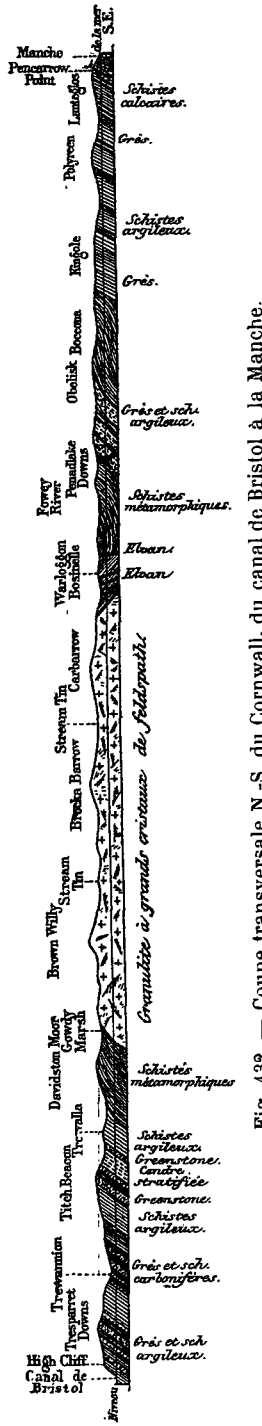


Fig. 132. — Coupe transversale N.-S. du Cornwall, du canal de Bristol à la Manche.

aujourd'hui le centre de beaucoup le plus important d'exploitation de l'étain en Europe, bien que leurs alluvions, source principale de l'étain antique, soient depuis longtemps épuisées. Elles présentent surtout deux traits caractéristiques : une allure plus filonienne, plus nette que dans la plupart des autres filons européens étudiés ensuite et une association typique du cuivre et de l'étain, que nous avons déjà eu l'occasion de signaler comme correspondant, en de nombreuses régions, à cette disposition plus franchement filonienne.

Géologie de la région. — Quand on envisage dans son ensemble la région SW de l'Angleterre qui comprend le Cornwall et le Devon, on y voit la trace incontestable de plissements armoricains EW, par suite desquels les terrains primaires du Sud-Ouest ont été violemment poussés vers le Nord jusqu'à l'anticlinal des Mendip Hills, qui surplombe au Nord le houiller plissé du Pays de Galles. C'est ainsi qu'au Nord de la région représentée par la figure 131, le dévonien, qui borde le canal de Bristol, plonge régulièrement vers le Sud sous un synclinal dinantien pour reparaître, sur son flanc Sud, en une large zone de dévonien et silurien avec intrusions granitiques (zone stannifère) [1].

Une coupe N.-S., du canal de Bristol à la Manche (fig. 132), montre cette disposition générale des terrains.

Si l'on examine la zone dévonienne du Sud où se trouve l'étain, on y aperçoit, en outre, aussitôt, l'indice d'accidents NE, écho probable d'une disposition antérieure, qui se traduisent par l'alignement de cinq grands massifs de granite à tourmaline formant l'arête du pays, par la direction des filons d'étain et de quartz stannifère au voisinage, enfin par des zones de schistes chloriteux ou amphiboliques, de micaschistes et de serpentines sur la côte Sud-Est (voir la figure 131). Le Cornwall se présente ainsi comme un de ces points de torsion favorables aux éclatements qui ont permis les filons métallifères.

La métallisation du Cornwall est multiple comme nous le dirons bientôt; mais les minerais d'étain, qui nous intéressent seuls dans ce chapitre, se

[1] 1892. Ussher. *The British Culm Measures* (Pr. Somerset Archeol. and nat. hist. Soc., t. 38, p. 181-219), et *Devon and Cornish Granits.* (Geol. Mag., 3 déc., t. 9, p. 467-468).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rattachent d'une façon incontestable aux massifs de granite post-carbonifère.

Ce granite (granulite), appelé *growan* par les mineurs du pays, est assez homogène dans sa composition : parfois il devient porphyroïde ou se charge de cristaux de tourmaline. Il est recouvert par un manteau de schistes micacés, passant au gneiss par feldspathisation et contenant des lits amphiboliques. Ces schistes, dits *killas,* ont subi, de la part de la granulite voisine, un métamorphisme profond que de la Bèche a étudié, en particulier, dans le Dartmoor. Ils se sont, dans une première zone, changés en des sortes de cornéennes; un peu plus loin, chargés de mica. La direction générale de ces schistes épouse celle de l'axe granulitique, c'est-à-dire qu'elle est N. E.

Granite et schistes encaissants sont, à leur tour, traversés par des filons d'une granulite à grain extrêmement fin, d'un elvan, qui se rattache directement à la granulite massive par son origine.

Ces filons d'elvan, ayant jusqu'à 120 m. de puissance, sont en partie minéralisés par de la pyrite de fer, de la chalcopyrite, de la cassitérite. A leur voisinage, comme auprès de la granulite elle-même, les schistes sont traversés par des veines de quartz et remplis de quartz en nodules ; ils se chargent de feldspath, de mica, de chlorite, d'actinote, d'akmite, de prehnite, d'épidote, de topaze...

Les filons d'étain sont, par exemple dans le district de Camborne, associés à ces filons d'elvan, localisés sur les mêmes zones et de directions parallèles.

Gîtes métallifères. — Les grands districts stannifères du Cornwall et du Devon sont groupés, presque comme partout dans le monde, autour des massifs granulitiques, bien que les filons ne soient pas toujours cantonnés strictement dans leur périphérie immédiate comme en d'autres régions stannifères et s'en écartent ici jusqu'à 3 à 4 km.

Nous avons déjà signalé l'association, au Cornwall, de l'étain et du cuivre. Les minerais comprennent, outre la cassitérite, la stannine rare et la chalcopyrite, toute une série d'autres minerais : d'abord, comme toujours, le wolfram, le mispickel, la pyrite, les sels de bismuth et d'urane, mais aussi, en petites proportions, la blende (qui, on le remarquera, est plus proche de l'étain que la galène et apparaît toujours dans ce groupe avant elle). Il y a, en outre, de la tourmaline, du mica lépidolithe et parfois de la fluorine. Dans ces dernières années, on a pu organiser une exploitation de wolfram à East-Pool; ailleurs, à Uranium mine et Old Gunnislake mine, exploiter l'urane.

La proportion des deux métaux principaux, étain et cuivre, varie beaucoup d'un point à l'autre dans un même filon ; elle diffère également d'un filon à l'autre et c'est ainsi qu'en partant du Nord, le bord Ouest du massif de Dartmoor a été cuivreux, Dartmoor lui-même stannifère.

Plus au Sud, autour de la bosse de Callington, on rencontre le cuivre et l'étain, tandis qu'au Nord-Est, à Sidfor et, au Sud, à Beer Alston, on a des minerais de plomb argentifère.

Les mines autour de la masse de granulite située entre Launceston et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Bodmin contiennent, en général, cuivre et étain ; on y trouve aussi quelques filons de plomb.

Au S.-E. de la granulite de Saint-Austell, on trouve surtout du cuivre (Fowey Consols Mine) ; sur le reste de la circonférence, on a affaire à l'étain.

Le district suivant, près de Camborne, Redruth et Penryn, est pratiquement à peu près le seul à fournir la production du Cornwall pour le cuivre comme pour l'étain. C'est là que se trouvent Dolcoath, Carn Brea, East-Pool, South Crofty, Basset, Wheal Grenville, etc. On a pu y extraire également autrefois un peu d'argent.

Enfin, entre Marazion et le cap Landsend, on a exploité surtout l'étain. C'est à côté de Penzance que se trouve un gisement très souvent cité en minéralogie, celui de Michaëls Mount.

Autour d'une masse granitique déterminée il semble, d'après certaines descriptions, y avoir un ordre de succession des métaux qui, s'il était bien constaté, serait du plus haut intérêt : d'abord l'étain, puis le cuivre et enfin le plomb. C'est un fait dont nous avons cru retrouver l'équivalent en Toscane et au Yunnan[1].

Dans le détail, un phénomène semblable explique peut-être la transformation si curieuse et si souvent citée qui s'est produite dans la minéralisation de la mine de Dolcoath, en 1870, vers 300 m. de profondeur[2]. Jusqu'à 270 m., on y a exploité le cuivre ; puis de 270 à 300 m., l'étain et le cuivre ; au-dessous, l'étain seulement. Or, dans toute la partie Ouest de la mine, cette transformation coïncide avec le moment précis où le filon a passé des schistes dans le granite. Il est vrai qu'à l'Est on est entré dans le granite depuis l'affleurement et qu'on y a néanmoins exploité du cuivre jusqu'à 270 m. La coupe longitudinale de Dolcoath, reproduite par Neue Forster, montre la manière dont le passage du cuivre à l'étain se fait presque suivant une ligne de niveau, traversée très obliquement par la limite des schistes et du granite et l'on peut se demander si la concentration du cuivre dans les parties hautes ne serait pas en rapport avec quelque action de cémentation postérieure.

Ce cas de Dolcoath s'est reproduit dans quelques autres mines du même district. Ailleurs, nous donnerons (fig. 142) une coupe de Old Hewas, où le cuivre et l'étain ont alterné.

Les filons d'étain du Cornwall, envisagés dans leur ensemble, ont présenté les types généraux suivants, correspondant à un caractère hydrothermal de plus en plus prononcé et à un système de dislocation de plus en plus net, que nous retrouverons dans tous les pays :

1° *Stockwerks* analogues à ceux de Saxe : réunions de veines très rapprochées arrivant à former une sorte d'amas. Le Michaels Mount en est un exemple classique. On en trouve dans la granulite et surtout dans l'elvan : ainsi à la mine de Wherry, entre Penzance et Newlin, à la mine de Madron, près Trewiddenball.

2° *Tinfloors*. — Réseaux de veines entrelacées un peu plus simples que les précédentes, soit dans les granulites, soit dans les schistes, consi-

[1] Voir plus haut tome 1, page 250.

[2] Voir tome 1, p. 165.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dérés par certains comme contemporains de la granulite même, mais très probablement postérieurs. On peut en voir, d'après Cotta, un bel exemple entre Saint-Yves et le cap Cornwall.

3° *Capels.* — Système de veines imprégnant les schistes.

4° *Tinlodes.* — Filons proprement dits, recoupant schistes, granulite et elvan sur les bords de la granulite.

Industriellement, toute la production vient des filons (ou lodes) et c'est la présence de ceux-ci qui crée la grande supériorité du Cornwall sur les autres champs stannifères d'Europe, où l'on n'a que des floors (Bretagne, Galice), ou des stockwerks (Erzgebirge). Il existe quelques grands filons, comme le Main Reef de Dolcoath (Carn Brea, Tincroft, Cooks Kitchen, Dolcoath, etc.), qui ont été reconnus sur 3 km de long. Ce sont eux qui fournissent pratiquement tout le minerai et c'est d'après eux que l'on fait d'ordinaire les descriptions du Cornwall. Mais, sauf ces rares exceptions, qui elles-mêmes présentent des branchements représentés sur la figure 133, les filons mêmes du Cornwall sont peu réguliers et il leur arrive souvent de se ramifier jusqu'à se perdre en veines de plus en plus fines. Le long de ces veines ou filons, la roche a subi la transformation ordinaire en schorl ou zwitter tourmalinifère, que nous avons signalée d'une façon générale et que nous aurons l'occasion de retrouver dans l'Erzgebirge.

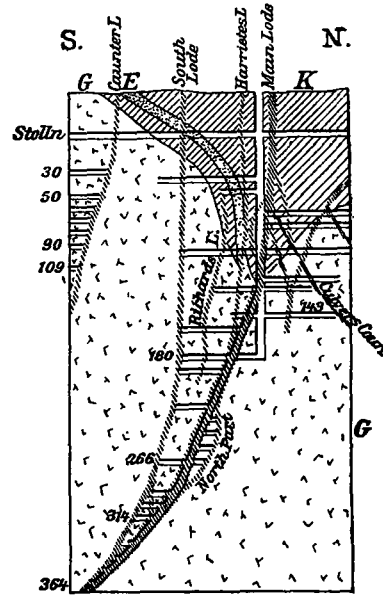


Fig. 133. — Coupe du système filonien de Dolcoath, d'après C. Le Neve Foster.

G, granite; K, killas (schistes); E, elvan. (Les profondeurs en pieds anglais.)

Il est, en outre, facile de voir que ces filons, dont on peut rattacher la venue à une phase dernière des mises en place granulitiques (1° granulite, 2° elvan, 3° quartz stannifère) ont, à leur tour, été incrustés en plusieurs stades, avec des mouvements intermédiaires qui introduisent des morceaux d'un premier remplissage brisé dans un remplissage ultérieur.

Les granulites étant post-dinantiennes, on est fondé à croire que l'étain est contemporain du grand mouvement hercynien qui a marqué le westphalien ; car, si les filons d'étain recoupent les filons d'elvan, ils sont traversés par des microgranulites plus récentes (comme cela a lieu à Freiberg) : microgranulites, qu'on a parfois confondues avec les elvans anciens et qui sont, en réalité, plus jeunes, mais antérieures au stéphanien.

La *nature des roches encaissantes* a, sur l'allure et sur la richesse du gisements stannifère, une influence qui a été soigneusement étudiée par les mineurs du Cornwall et dont nous venons déjà de dire un mot.

D'une façon générale, on considère que les filons s'appauvrissent dans

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le greenstone et s'enrichissent dans les schistes, dans la granulite et au

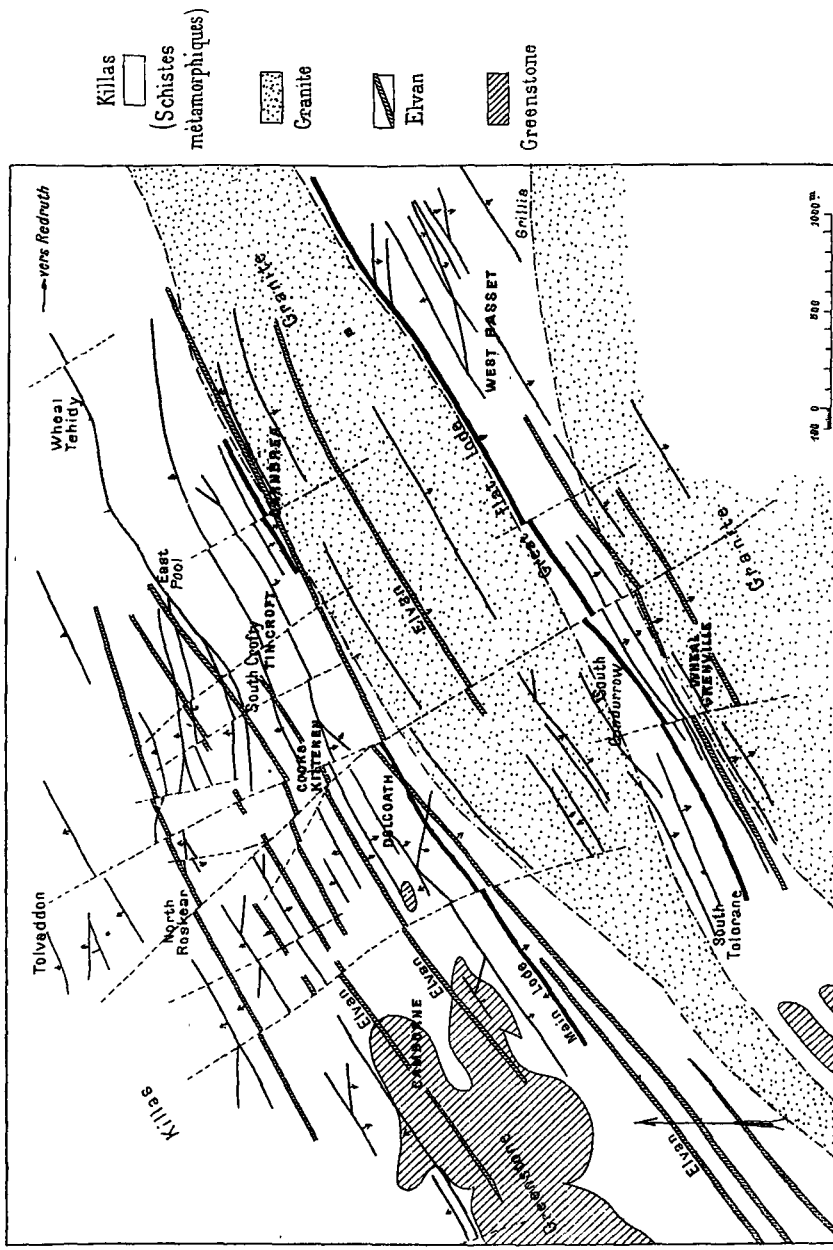


Fig. 134. — Le champ filonien de Camborne, d'après D.-A. Mc Alister.

voisinage de certains filons d'elvan. L'intersection de deux filons produit un enrichissement du côté de l'angle aigu.

Pour décrire ces filons plus en détail, il suffit d'examiner le district de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Camborne représenté par les figures 134 et 135. Dans ce district, une étroite bande de schistes, qui disparaît rapidement en profondeur, recouvre, sur environ 500 à 1000 m. de large, le granite profond. C'est là que se trouve le great Flat Lode (ainsi nommé à cause de sa faible pente). Puis vient, vers le Nord, un massif granitique de 1 km de large allongé N.-E.-S.-W., sur le flanc Nord duquel le manteau de schistes reparaît, recoupé par le Main Lode de Dolcoath qui pénètre en profondeur dans le granite.

Nous pouvons prendre comme type le Great Flat Lode (fig. 135) qui s'étend de Perseverance à l'Est, à Basset, Frances, South Condurrow et South Tolcarne à l'Ouest, sur le bord de la masse de granulite de Carn Brea. Sa direction est N. 35° E. Son pendage est d'environ 46° vers le Sud. Il contient, au centre, un remplissage constant de quartz ferrugineux avec cristaux de cassitérite, au milieu d'un schorl stannifère tenant de 1 à 3 p. 100 de cassitérite, c'est-à-dire d'une roche de métamorphisme due à une substitution exercée par la veine stannifère en

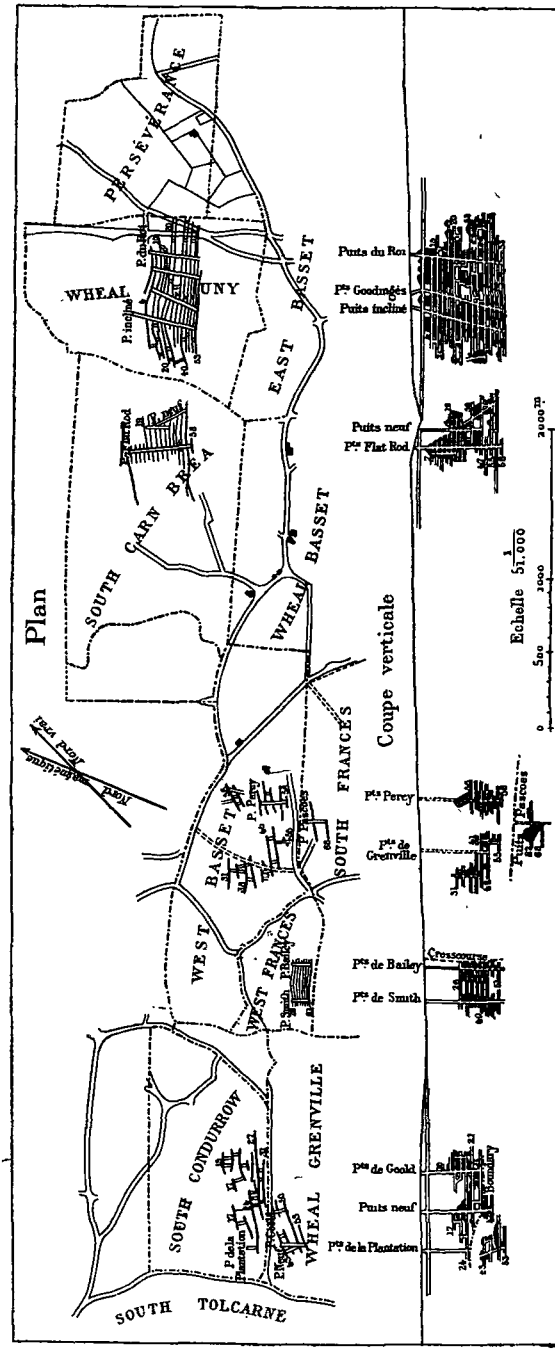


Fig. 135. — Plan du great flat Lode de Camborne et coupe verticale (d'après Davies).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

partant d'une mince fracture primitive et passant, par l'intermédiaire d'un schorl-rock pauvre en étain, à la granulite ou au killas stérile.

Quelques coupes, prises dans les diverses mines situées sur ce filon de l'Est à l'Ouest, préciseront son allure.

La figure 136 montre sa coupe à *Wheal Uny Mine,* à l'étage de 35 m.

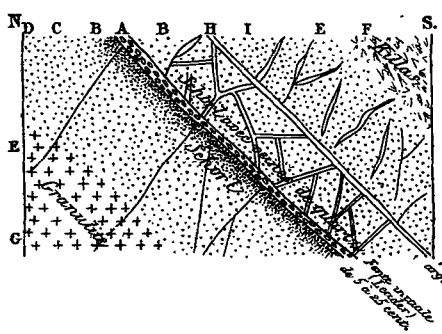


Fig. 136. — Section à Wheal Uny (niveau de 35 mètres). Echelle au 1/100e (d'ap. Davies).

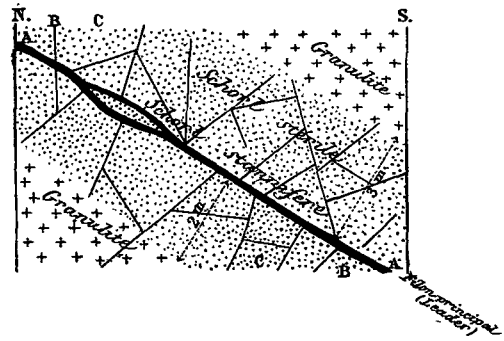


Fig. 137. — Section à West Wheal Basset (niveau de 30 mètres). Ech. au 1/100e.

Là le filon a : pour toit, le schiste (killas) ; pour mur, la granulite. A représente la fente originelle ou leader, ayant de 0,05 à 0,25 m. de large, remplie par des fragments de schiste chloriteux cimentés par du quartz et de la pyrite de fer. B est une épaisseur variable de granulite minéralisée (schorl), avec des veines nombreuses de quartz et cassitérite. H est une veine d'argile contenant un peu de quartz et de pyrite. Il y a, de part et d'autre, passage graduel : d'une part, au schiste ; de l'autre, à la granulite.

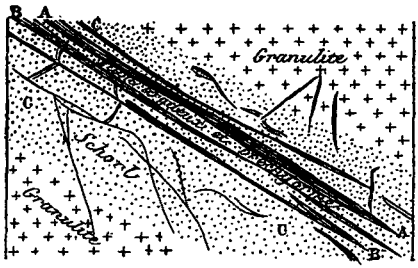


Fig. 138. — Section à South Condurrow (niveau de 20 mètres). Echelle au 1/400e.

Un peu plus loin, à la mine de *West Wheal Basset,* on trouve ce filon en pleine granulite (fig. 137).

La fente A, de 5 à 6 cm. d'épaisseur, est remplie par des fragments de la roche encaissante (Capel). B est la granulite stannifère d'un gris bleu passant à la roche stérile. L'épaisseur du stockwerk est d'environ 3 m. d'un côté du filon et 2 m. de l'autre.

A *South Condurrow*, on est encore dans la granulite, mais l'aspect change (fig. 138).

La fente principale A est plus complexe ; elle est encore remplie d'argile, de quartz et d'oxyde de fer avec des fragments de la roche encaissante. B est la zone métallifère, d'environ 1,60 m., formée de granulite stannifère noirâtre traversée par de très nombreuses veines de quartz de toutes les directions, ayant de 5 à 6 cm. de large, et par des veines tranversales, contenant de la pyrite de fer. On passe progressivement à la granulite intacte C.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A *South Brea* enfin, le même filon, à 350 m. de profondeur, avait une largeur de 0,60 m. à 1,30 m. et était chargé de minerai de cuivre. Il était situé là entre la granulite et les schistes.

En moyenne, vers 1880, la proportion de minerai préparé à 70 p. 100 était, dans ce filon, environ 2,5 p. 100 de l'extraction et la production du filon était elle-même à peu près le 1/8 de la production totale du Cornwall.

Passons à d'autres régions, où nous retrouverons des caractères analogues : filon central ayant servi à l'arrivée de l'étain et imprégnation, à droite et à gauche, de la roche encaissante.

La figure 139 représente la mine *East Wheal Lovell*, près Redruth. AB est la fente originelle, d'à peine 1 cm. de large, remplie de quartz et d'argile ferrugineuse. Autour de cette fente, il existe une imprégnation stannifère C, qui passe graduellement à la granulite. La masse stannifère C est formée d'un mélange de quartz, mica, gilbertite, fluorine, pyrite de fer et de cuivre et cassitérite. Tantôt elle s'étend plus d'un côté de la fente, tantôt de l'autre. La longueur de l'amas est de 4 à 12 m. et sa largeur de 3 à 4 m. On l'a suivi jusqu'à 220 m. de profondeur. Par endroits, on a extrait 6 à 7 t. d'étain par mètre cube et, plus généralement, 6 à 700 kg.

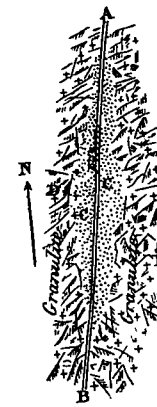


Fig. 139. — Plan du filon de East Wheal Lovell Mine, près Redruth, au 1/300e.

AB, filon; CC, masse imprégnée; DD, granulite.

Là le minerai est dans la granulite. Ailleurs dans un autre district, au *Park of Mines*, au Sud de Saint-Colomb, nous trouvons l'étain dans les schistes, au voisinage de la granulite de Saint-Austell. L'étain forme, le long de la schistosité, des lentilles étroites de 2 à 4 cm. d'épaisseur, reliées par des veines trans-

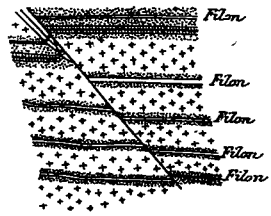


Fig. 140. — Granulite avec veines de cassitérite à Cligga Point (Cornwall). Echelle au 1/120e.

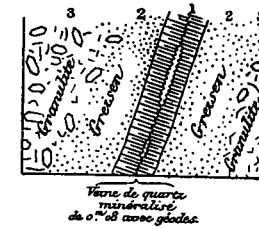


Fig. 141. — Vue agrandie des veines dans la granulite de Cligga Point. Echelle au 1/16e.

versales[1]. La largeur totale de la masse imprégnée est là de 14 m. du Nord au Sud et 20 m. suivant la pente. Le minerai est associé avec du quartz, de la tourmaline et du kaolin.

Enfin nous citerons, à *Cligga Point* (fig. 140), un exemple analogue aux stockwerks classiques de Saxe. C'est une masse granulitique de 100 m.

[1] C'est un type assez analogue à celui que nous retrouverons en Galice. Voir p. 37.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de long, traversée par une foule de veines parallèles déplacées par une faille.

Le détail d'une veine à incrustation symétrique est montré par la figure 141. C'est un filon de quartz de 0,08 m. d'épaisseur avec des cristaux perpendiculaires à l'axe, laissant parfois un intervalle vide et contenant, outre le quartz, de la cassitérite, du wolfram, du mispickel et de la tourmaline. 2 y représente un greisen de couleur noire, ayant 1,50 m. environ de chaque côté du filon de quartz, formé uniquement de quartz et mica et contenant de la tourmaline, de la cassitérite et de la gilbertite. Des baguettes de tourmaline remplissent fréquemment des cavités qui paraissent résulter de la disparition de l'orthose. On passe progressivement à la granulite.

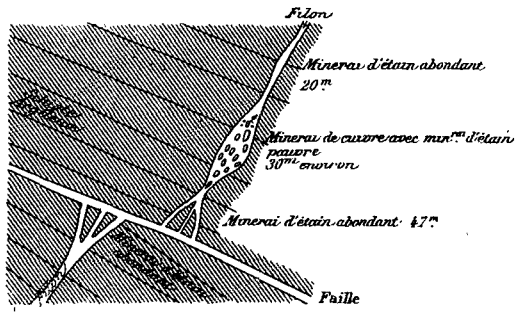


Fig. 142. — Coupe du filon de Old Hewas mine (Cornwall).

A *Old Hewas mine* (fig. 142), on a un type d'enrichissement à la rencontre d'un croiseur.

Alluvions du Cornwall[1]. — Les alluvions stannifères (streamworks), qui dérivent des gisements précédemment décrits, ont été exploitées depuis l'antiquité jusqu'au moyen âge, et sont, en conséquence, depuis longtemps épuisées.

Elles offraient, d'après Phillips et Louis, comme un peu partout, les trois types suivants :

1° Éluvions sur plans, éboulis à la base des granites stannifères (ou shodes).

2° Alluvions anciennes atteignant jusqu'à 210 m., à Saint-Agnes Beacon.

3° Alluvions des vallées actuelles et des rivages, à fragments mal roulés (ou streams).

En principe, l'alluvion stannifère, comme toutes les alluvions métalliques, est sur le bedrock.

Par exemple à Happy-Union près du pont de Pentewan, dans la vallée de Saint-Austell, on a 1 à 3 m. de couche stannifère (tinground) avec galets de granite et de schistes à tourmaline, reposant sur les schistes argileux (killas) à 18 m. au-dessous du niveau de la mer et recouverts par une quinzaine de mètres de terrains récents : tourbe et lits de végétaux, couches à coquilles marines, couches à ossements de Bos primigenius et Megaceros. Cette coupe accuse des mouvements du sol postérieurs au dépôt de cette alluvion.

On a recueilli, dans cette région, des ossements de cerf imprégnés de cassitérite secondaire et de pyrite, qui ont paru accuser un certain rôle

[1] Blumner. *Technol. der Gew. und Künste bei Griechen und Römern* (t. 4, p. 8). — 1908. G. R. Lewis. *The Stannaries, a Study of the English Tin Min.*, p. 34.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de la remise en mouvement par dissolution dans la concentration de l'étain[1].

Industrie. — En 1871, la production du Cornwall et du Devon avait atteint un maximum d'environ 12 000 t. d'étain. Vers 1877, les mines produisaient encore 9 800 t. de métal. On est descendu à 9 000 en 1894, puis à 4200 en 1904, pour remonter depuis lors (5 900 tonnes en 1910). Les mines ont été très nombreuses et, vers 1880, on en exploitait encore 183, dont 9 seulement au Devon et le reste au Cornwall ; mais la presque totalité de la production est fournie par quelques grandes mines, pour la plupart situées dans le district de Camborne, dont nous avons donné plus haut l'importance relative[2] : d'abord par la Dolcoath qui fournit près du tiers de l'étain à elle seule et qui descend aujourd'hui à 920 m. de profondeur, puis par Carn Brea, qui exploite le même filon, Basset, East Pool, etc. On cite également les mines Levant, South-Crofty, West-Kitty, Wheal Greenville, Calstock, etc.

BRETAGNE[3]

(La Villeder, Piriac, etc.)

Des équivalents restreints du groupe stannifère que nous venons d'étudier en Cornwall se retrouvent sur le système plus méridional des plis armoricains qui traverse la Bretagne. Ils y sont liés à deux ou trois longues traînées de roches granitiques analogues et probablement du même âge. Le principal gisement est celui de la Villeder, situé sur la zone de granite la plus septentrionale, où l'on a fait un essai malheureux d'exploitation. C'est le seul que nous décrirons. Mais il en existe un certain nombre d'autres, qui peuvent être à citer minéralogiquement, d'autant plus qu'ils ont, en général, donné lieu à des exploitations préhistoriques.

Dans le Morbihan, des quartz à cassitérite existent près Penestin à l'embouchure de la Vilaine, à Questembert, la Villaulan, Pourmabon. On en retrouve dans la Loire-Inférieure à Penhareng, près Piriac, où ils ont donné lieu à des sables stannifères sur la plage, à Abbaretz et dans les granulites des environs de Nantes[4]. Ces derniers sont situés sur une traînée granulitique dont nous retrouverons l'équivalent stannifère dans le Plateau Central.

Le groupe principal, où se trouve **la Villeder**, au S.-W. de Ploermel, est connu sur près de 4 km.

[1] Voir plus haut, page 12.

[2] Page 6.

[3] Coll. Ecole des Mines, 1679 (la Villeder), 1604 (Penestin), 1745 (Piriac). — 1834. Blavier et Lorieux. (Ann. d. M., 3e série, t. 6, p. 381). — 1834. Audibert. *Sur un gisement d'étain à Maupas* (Morbihan). (Ann. d. M., 4e, t. 6, p. 181-186). — 1844. Blavier et Lorieux. (Ann. d. M., 4e, t. 7, p. 181). — 1882. Limur. *Les mines d'étain de la Villeder* (Bull. Soc. hist. nat. de Toulouse). — 1883-84. Lodin. *Note sur la constitution des gîtes stannifères de la Villeder* (Morbihan) (B. S. G. F., 3e série, t. 12, p. 645). — 1887. Daubrée. *Eaux souterraines*, p. 148. — 1887. Baudot. *Les mines d'étain de la Villeder* (Morbihan). (Bull. Soc. Ind. min. de Saint-Etienne, 3e série, t. 1. p. 151.

[4] Lacroix. *Min. de la France*, t. 3, p. 221.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il existe, dans cette partie du Morbihan, un massif de granulite assez vaste, qui s'étend à l'Ouest jusque vers Baud et Locminé. Ce massif est entouré de schistes d'un gris plus ou moins foncé, souvent lustrés et d'une fissilité très variable, qu'on a rattachés au cambrien. Ces schistes ont subi, au contact de la granulite, un métamorphisme très net et se sont chargés de mica blanc et de chiastolite. En outre, la granulite a

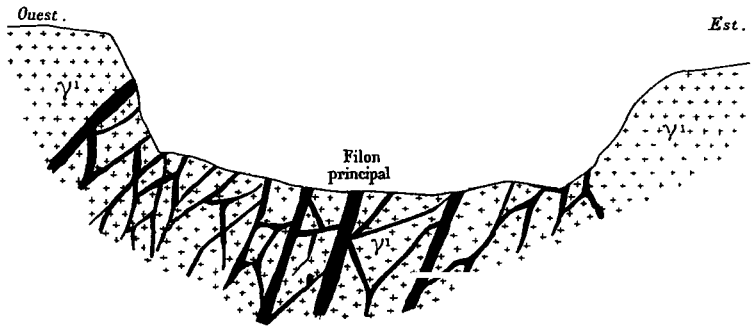


Fig. 143. — Coupe de la grande tranchée de la Villeder (d'après Renouf, 1838).

jecté, dans les schistes, un grand nombre de veines et la surface de paration des deux terrains est très irrégulière.

A travers cette granulite et ce gneiss, au voisinage du contact des ux roches, du côté de la Villeder et, le plus souvent, à peu près parallement à ce contact, c'est-à-dire vers 160°, courent des filons quartzeux épaisseur variable, qui contiennent l'étain dans des conditions sem-

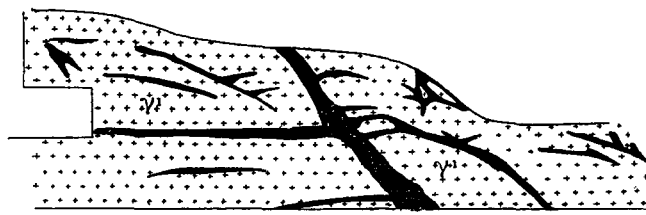


Fig. 144. — Coupe entre le puits Saint-Michel et le puits n° 8. (Echelle au 1/200e.)

blant tout d'abord très analogues à celles du Cornwall, sauf que le cuivre fait défaut. Mais, si l'on entre dans le détail, on trouve, au contraire, des différences assez fortes avec les filons prolongés du Cornwall et des rapprochements avec certains stockwerks, à nombreux minéraux cristallisés, de Zinnwald, Michaels Mount, etc. Les filons quartzeux forment, en effet, un faisceau, dont l'allure générale est assez régulière, mais qui, dans le détail, se ramifie en une série de veines.

La figure 143 montre le réseau de ces veines dans la granulite décomposée à la grande tranchée de la Villeder et les figures 144 et 145 dans l'exploitation : 1° entre le puits Saint-Michel et le puits n° 8; 2° à la traverse du puits n° 5.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le faisceau se trouve constamment à la limite même de la granulite et des schistes micacés (figure 146) et passe de la granulite au schiste sans déviation, ainsi que nous l'avons observé à diverses reprises dans le Cornwall (Dolcoath, etc.).

La granulite, assez fortement kaolinisée à la surface, au voisinage des filons quartzeux, est, à quelque profondeur, devenue entièrement solide.

Au point de vue du remplissage, les filons de la Villeder contiennent,



Fig. 145. — Coupe à la traverse du puits n° 5 de la Villeder. (Ech. au 1/200e.)

en dehors du quartz dominant : cassiterite apatite, fluorine, molydénite, mispickel, pyrite, blende noire, chalcopyrite, galène, etc. Le wolfram ne paraît pas y avoir jamais été rencontré. Quelques minéraux y sont très rares : ainsi la topaze, la phénakite, trouvées seulement deux ou trois fois dans des géodes du remplissage quartzeux ; la fluorine et la molybdénite signalées dans les premières exploitations, disparues ensuite ; la galène et la pyrite de fer, accidentelles dans le quartz.

Au sujet des autres minéraux, Lodin a fait les remarques suivantes.

La *tourmaline*, à la Villeder, est très rarement réunie à la cassitérite, quoiqu'il existe des cristaux d'oxyde d'étain portant, à la base, des aiguilles de tourmaline ; elle semble même se trouver dans un quartz différent de celui des veines stannifères, ne répandant pas, sous le marteau, l'odeur caractéristique de ce dernier.

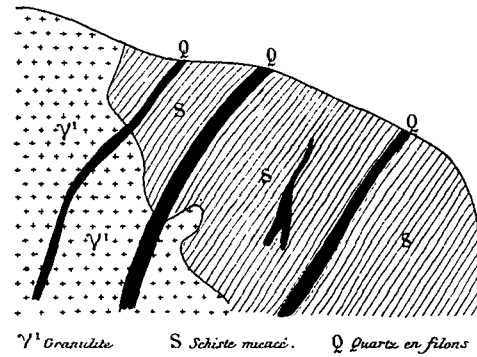


Fig. 146. — Coupe d'une tranchée faite près du puits de Lédo (d'après Durocher, 1847).

Les satellites les plus habituels de la cassitérite sont : le mica blanc, à 3,31 p. 100 de fluor, très peu lithinifère, l'apatite, l'émeraude, qu'on a souvent confondue avec l'apatite et sur laquelle l'étain s'est fréquemment moulé.

Le *quartz* est blanc laiteux et tout particulièrement chargé d'inclusions liquides. Il enveloppe la cassitérite, l'émeraude, l'apatite, le mispickel, la blende ; mais, dans sa masse, se sont développées des géodes, où s'est formé un second dépôt de mica blanc, cassitérite, émeraude et apatite. Les sulfures ne se rencontrent jamais dans ces géodes, où l'on a, au contraire, comme nous l'avons dit plus haut, observé la topaze et la phénakite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Quant à la *cassitérite* elle-même, elle est souvent en cristaux volumineux brun foncé et opaques, appliqués sur les épontes du filon, dont ils sont séparés ordinairement par une couche de mica blanc, quelquefois en cristaux disséminés ou en masses irrégulières au milieu des remplissages quartzeux ; enfin, exceptionnellement, en cristaux bien formés au milieu des géodes.

La présence des sulfures mérite une attention particulière :

Le *mispickel* se présente un peu partout dans la masse et pénètre même dans la granulite des épontes, quoique celle-ci ne présente pas d'altération sensible. Il est parfois, au voisinage des épontes, recouvert par la cassitérite ; d'autres fois, au milieu du quartz, jamais dans les géodes. Il contient une quantité d'or fort appréciable, 8 à 9 millièmes, qui a peut-être fourni l'or des alluvions stannifères du pays. La *blende*, plus rare, se rencontre dans des conditions analogues. Elle a généralement suivi la consolidation de la cassitérite ; cependant on a trouvé des cristaux de blende et de mispickel, sur lesquels la cassitérite s'est moulée.

Si l'on cherche à déterminer l'ordre de consolidation, on trouve que, dans le cas général, l'émeraude a précédé la cassitérite, qui a précédé elle-même les autres éléments : quartz, apatite, etc... ; mais l'ordre inverse peut se présenter. Le mica blanc a continué à cristalliser pendant toute la durée de la formation.

Industriellement les mines de la Villeder, qui paraissent avoir été, comme les gisements du centre de la France dont nous parlerons plus loin, exploitées dans une antiquité très reculée, dès la première époque du bronze, ont été reprises en 1856, date de l'institution de la concession. Les premiers travaux, faits à ciel ouvert, donnèrent de mauvais résultats et furent interrompus en 1863. A partir de 1880, l'exploitation a été organisée sérieusement et en profondeur ; mais on constata d'abord que les parties superficielles du filon avaient été enlevées par les anciens ; puis, en profondeur, on se heurta, vers une profondeur de 113 m., à une région stérile. La mine entra en liquidation en 1886.

Les tableaux d'exploitation montrent que la zone filonienne exploitée a généralement varié de 1 à 4 m., sauf au chantier Sud, où elle a atteint 11 m. La teneur du minerai en étain métallique allait de 1 à 3 p. 100, ou, par mètre superficiel de filon, de 50 à 200 kg. La puissance réduite du filon en cassitérite était souvent voisine de 0,01 m. et pouvait atteindre localement 0,05 m. Dans ces conditions, qui s'appliquent aux meilleures parties du gisement, le prix de revient par tonne d'étain allait au moins de 1 000 à 1 900 francs.

PLATEAU CENTRAL (Vaulry, Cieux, Montebras)

Le Plateau Central contient de nombreux gisements stannifères, en rapport avec les masses de granulite si importantes qui forment peut-être le trait le plus caractéristique de sa constitution ancienne. Comme l'a montré Mallard le premier, les exploitations préhistoriques d'étain ont dû y être nombreuses et s'associer avec des exploitations d'or qui, récemment, ont attiré de nouveau l'attention. Industriellement aucun de ces gisements stan-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nifères n'a, jusqu'ici, donné des résultats d'exploitation fructueux. Un seul d'entre eux, celui de Montebras, est repris parfois sans grand succès.

La carte géologique de cette région accuse deux grandes traînées de granulite qui, épanouies et divergentes dans l'Est, vont progressivement se réunir dans l'Ouest en s'effilant de plus en plus vers Bessuire, Nantes et l'embouchure de la Vilaine. Sur la première est le gîte de Montebras ; sur la seconde, on a, de l'Ouest à l'Est, ceux de Vaulry, Cieux, Chanteloube, Meymac, etc. Comme partout, l'étain y est associé avec du tungstène, parfois avec de l'uranium et des terres rares.

Montebras.—Le gisement de *Montebras* (Creuse)[1] a été découvert, en 1859, par Mallard, exploité de 1865 à 1877, repris vers 1891 et de nouveau en 1908. L'étain y est associé avec une granulite porphyroïde albitifère à topaze microscopique, qui dérive de la granulite à muscovite grenue habituelle, encaissée elle-même dans un granite granulitique à pinite et à rares paillettes de mica blanc. Cette granulite, passant à la microgranulite, renferme 0,51 p. 100 de lithine et des traces d'étain disséminées (5 à 6 millièmes d'après les résultats du lavage des kaolins). Au milieu d'elle courent des veines massives de quartz enfumé, des filonnets de fine granulite rose elvanique et d'autres de greisen. Le système filonien, où se présente l'étain et dont on avait autrefois très fâcheusement systématisé l'allure ainsi que la minéralisation, constitue un réseau irrégulier et hétérogène d'une cinquantaine de veines encaissées, soit dans cette granulite porphyroïde, soit surtout, à son voisinage, dans le granite à pinite. Il est visible que ce système est l'exagération quartzeuse de pegmatites, auxquelles le quartz passe d'ailleurs constamment. On y est descendu jusqu'à 160 m. de profondeur.

Comme minéralisation, ce système est très loin d'être partout ni même surtout stannifère. Souvent on y trouve de véritables filons d'apatite et quartz. Ailleurs, l'amblygonite (fluophosphate d'aluminium et de lithium) arrive à y constituer des poches d'une douzaine de mètres sur 3 à 4 m. de large, associée avec du feldspath et du quartz dans une structure pegmatoïde. En même temps, apparaissent toute une série de minéraux, notamment des phosphates comme la wawellite, la montebrasite, la chalcolite, ou des micas lithinifères avec quelques traces d'étain et une proportion assez notable de manganèse (notamment dans l'apatite). La cassitérite est niobifère. Le wolfram et la tourmaline font défaut. La molybdénite est très rare ainsi que l'urane.

L'étain est disséminé un peu partout dans la granulite, dans la pegmatite, dans le quartz ; mais sa proportion est toujours très faible.

Au voisinage, la granulite a subi la kaolinisation, qui se produit si fréquemment le long des filons quartzeux stannifères. On a pu exploiter ainsi un peu de kaolin. Il s'est produit, en outre, des éluvions et alluvions assez développées, contenant un peu d'étain, sur lesquelles on a fondé l'espoir de la dernière reprise.

[1] Coll. Ecole des Mines, n° 1805. — L. De Launay. *Feuille au 1/8000e de Montluçon;* La Nature, 15 juin 1901 (*Une mine de lithine en France*; avec plan des travaux préhistoriques. 1900. *Exc. à quelques gîtes mét. du Plateau Central* (Congr. géol. de Paris), p. 10 à 16, avec bibl. antér.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Vaulry[1]. — Sur la traînée granulitique du Sud et beaucoup plus à l'Ouest, il existe, à *Vaulry*, dans la granulite, des veines quartzeuses très multipliées, arrivant à former un véritable stockwerk et qui, par un phénomène très général, comme nous l'avons vu, se prolongent dans les schistes voisins. La direction est N. 10° E. Les veines de quartz, larges de 3 à 5 centimètres, contiennent, près des épontes, de la cassitérite. La granulite, au voisinage, a subi l'altération ordinaire; le feldspath est disparu et il est resté un greisen semblable au zwitter saxon, formé de cristaux de quartz et de mica et contenant de la cassitérite.

On a trouvé à Vaulry: wolfram et scheelite; mispickel; cuivre natif très rare; fluorine dans quelques filons riches en mispickel; traces d'autunite; molybdénite; apatite très rare; traces d'or.

Cieux. — A *Cieux*, il existe, à la limite de la granulite et du granite, un filon de quartz atteignant près d'un mètre avec druses de quartz cristallisé au centre. L'étain, peu abondant, se trouve surtout au contact des épontes; les minéraux sont les mêmes, mais il s'y joint de la tourmaline. La direction est N. 40° E., c'est-à-dire parallèle à la direction générale des filons de granulite.

Chanteloube. — On peut encore rapprocher de ces gisements d'étain les carrières de la région de Chanteloube, au Nord de Limoges.

Près Chanteloube, on a exploité, dans d'anciennes carrières, du feldspath et du kaolin.

Ces carrières, où les minéraux atteignent des dimensions considérables, sont remarquables par la présence d'un certain nombre de minéraux rares: en particulier l'émeraude, le malakon (hydrosilicate de zirconium), le mispickel, le wolfram, la colombite, la cassitérite, l'apatite, l'urane, etc.

La présence de la cassitérite semble ici directement liée à celle de la pegmatite.

Meymac, etc.[2]. — On a trouvé également un peu d'étain : dans le gisement de *Meymac* (Corrèze) qui sera étudié à l'occasion du bismuth; dans les filons de wolfram de *Puy-les-Vignes*, près Saint-Léonard; dans le kaolin des *Colettes* (Allier), etc. Enfin il a été rencontré de l'étain en proportions sensibles dans l'ancienne mine de cuivre de *la Prugne* (Allier), où des filons de chalcopyrite se changent, au voisinage de la surface, en phillipsites argentifères.

[1] Coll. Ecole des Mines, 1751 (Vaulry); 2401 (Cieux); 2398 (Echassières). — Gisements visités de 1881 à 1900. — L. De Launay. *Feuilles de Confolens et de Guéret.* — 1813. Cressac : sur Vaulry (Journ. des M. juin, n° 198). — 1815. *Ueber das Vork. von Zinn am Puy les Vignes und im Gebirge von Blond* (Jahrb. f. Min., p. 560). — 1828. Dufrénoy. *Sur les filons d'étain de Vaulry* (Ann. d. M., 2e, t. 3, p. 65). — 1859. Mallard. *Sur la découverte de l'étain à Montebras* (Bull. Soc. Sc. nat. de la Creuse). — 1865. Mallard. *Gîtes stannifères du Limousin et de la Marche* (Ann. d. M., 6e, t. 10, p. 321). — 1869. Daubrée. *Sur le kaolin stannifère de la Lizole et d'Echassières* (C. R., 10 mai). — 1871. De Cessac. *Sur l'homme préhistorique dans la Creuse* (Caen). — 1874. De Gouvenain. *Sur l'étain d'Echassières* (C. R., t. 74, p. 1032).

[2] 1897. Burthe. *Recherches de Meymac.* (Ann. d. M., 9e, t. 12, p. 10).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

GALICE, TRAZ-OS-MONTES, CACERES[1]

On a essayé, à diverses reprises, de reprendre, soit pour étain, soit pour tungstène (dans ce dernier cas, avec un certain succès), les importantes exploitations préhistoriques qui existaient encore, à l'époque romaine, dans le N.-W. de l'Espagne et la partie contiguë du Portugal (Galice, Traz-os-Montes, etc.).

Galice. — Les gisements situés dans le Sud de la Galice, à l'Est d'Orense, vers la Picoña et autour de Viana del Bollo, sont pauvres mais intéressants par leur allure qui se rapproche du type saxon.

Des massifs de granulite ont exercé, dans cette région, un métamorphisme prononcé sur des gneiss et schistes siluriens. Sur la périphérie de ces massifs de granulite, on voit s'en détacher des veines granulitiques, qui s'injectent dans les schistes en les recoupant plus ou moins. On peut observer facilement l'une de ces veines presque horizontales de 8 à 10 m. de haut, dans l'exploitation de San Manuel. Recoupée par quelques petits rejets bien nets, elle va en s'amincissant à mesure qu'elle s'éloigne de la granulite, devient presque uniquement quartzeuse et finit par se perdre. Cette veine de granulite est recoupée, dans sa longueur, par une série de fissures de retrait, plus ou moins irrégulières, remplies par une exsudation de quartz stérile et, sur les épontes de ces veines de quartz, près de leur rencontre avec les schistes, ainsi que le long du contact des schistes et de la granulite, l'étain a cristallisé, souvent dans une gangue de feldspath à gros éléments. Les galeries de mines s'enfoncent donc en suivant ces veines à épontes de cassitérite et même de quartz stérile. Dans une autre exploitation où les gneiss sont très redressés, on a affaire à un filon de granulite kaolinisée bordé par une petite zone de mica et feldspath et, entre la granulite et le gneiss, existe un filon de quartz stannifère qui lance des ramifications dans la granulite.

La granulite en massif contient, elle-même, comme à Montebras, une certaine proportion, très faible, d'étain.

L'étain de Galice est accompagné d'un peu de mispickel, de pyrite, de molybdène sulfuré et de wolfram.

De 1887 à 1891, divers syndicats anglais, allemands, etc., se sont formés pour organiser à la moderne les exploitations galiciennes, mais ont tous échoué. On cite les mines d'Andorra, Gloria et Purissima.

[1] Coll. Ecole des Mines, 1944 à 1946, 2099 et 2835, gisements de Pentes, Penuta, San Manuel et la Picoña en Galice, à 20 km E. d'Orense (don Saladin); de Codeça, San Martinho en Portugal (don L. Janet). — Pline (XXXIV) mentionne déjà les alluvions stannifères de Galice et de Lusitanie. — Voir aussi : 1876. Manuel Garcia. *Nota acerca de algunos fil. estanif. de la prov. de Salamanca* (Bol. com. Map. Espana, 3, 91). — 1880. De Maestre. *Prov. de Salamanca* (Mem. com. Map. geol., 215,). — 1901. Calderon. *La casiterita y los filones estaniferos de la Peninsula* (Bol. Soc. Esp. de Hist. Nat. t. 1, 231). — 1902. Hernandes Pacheco. *Los filones estaniferos de la provincia de Caceres* (Bol. Soc. Esp. de Hist. Nat. t. 2, 72). — Sur la côte Nord de Galice, les kersantites stannifères de Salave, dans les falaises de l'Est de Figueiras, ont eté décrites comme éocènes (voir 1853. Schulz et Pascual Lopez. *Mem. geog. sobre la prov. de Asturias*, Madrid, p. 15) — 1906. Lozano. (Bol. com. map. geol. Espano, t. 8, p. 11-24).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Traz-os-Montes. — Au Sud-Est, en Portugal, on a exploité, dans la province de *Traz-os-Montes*, à l'Ouest de Zamora, des filons relativement réguliers à étain, wolfram et mispickel encaissés dans la granulite et pénétrant peu dans les micaschistes. Après avoir eu des affleurements superbes à blocs de cassitérite massive, on est descendu les recouper à 50 m. de profondeur et l'on n'a plus trouvé qu'une série de veines, encore bien nettes et parallèles, mais minces et pauvres avec un pendage de 30 à 45°. La cassitérite y avait presque disparu, remplacée par un peu de blende et de chalcopyrite. Le gisement d'*Ervedosa*, où l'on a tenté récemment des recherches sur des fouilles antiques, est situé au S.-W. de Bragance, entre cette ville et Mirandella, à la limite du granite et des micaschistes. Un filon, qui suit ce contact, lance de nombreuses apophyses avec quartz, cassitérite, wolfram, chalcopyrite. On a trouvé notamment un stockwerk granitique minéralisé sur 200 m. de long et 15 m. d'épaisseur. Plus à l'Ouest, nous donnerons, à l'occasion de l'antimoine, une étude de la région du *Douro* (Minho) avec ses filons d'antimoine et de wolfram, auxquels se joint un peu d'étain à l'Ouest de *Penabiel*.

Enfin au S.-E., nous décrirons plus loin, à l'occasion de l'uranium, la zone de *Guarda* à *Sabugal* (Beira Baixa), qui offre de la cassitérite, du wolfram, du mispickel et de l'uranite.

Caceres. — Quelques recherches d'étain ont été faites également, vers 1904, à 3 ou 4 km. S.-E. de *Caceres* [1], dans les schistess iluriens qui se présentent accolés au granite au milieu d'un ensemble réputé cambrien. J'ai pu en étudier des échantillons communiqués par Hereza [2]. Aux affleurements, des veines quartzeuses formaient un réseau entrelacé, auquel s'associaient quelques filons plus continus, dont un seul a été exploré. Ce filon, oblique sur les schistes encaissants, présente la particularité d'être à environ 10 km. des affleurements granitiques entre deux mamelons de granite qui doivent se relier souterrainement et dont il est probable que sa minéralisation dérive. Large de 0,80 m., il est incliné à environ 45° et a été exploré sur une trentaine de mètres seulement. En s'enfonçant, on y a trouvé une zone de quartz et d'amblygonite, analogue à celle de Montebras, pouvant tenir 4 à 5 cm. de cassitérite, puis un agrégat cireux de teinte jaune verdâtre, formé de damourite [3], avec de la nacrite, de la muscovite et de l'orthose, renfermant 1 à 2 cm. de cassitérite ; enfin, plus bas, encore une zone stérile.

Si les filons de phosphorite de cette région, précédemment décrits, sont, comme on l'a affirmé, de véritables filons, il est possible qu'ils soient en rapport avec les phosphates de ces veines stannifères.

Dans le reste de la péninsule espagnole, on a encore exploité autrefois de l'étain aux mines de Terrubias, Santo Tome de Rozados, etc., province de *Salamanque* et dans celles de San Isidoro et Marinera, près *Carthagène*.

[1] Renseignements et échantillons communiqués par Juan Hereza, en 1902, et note du même dans la Revista Minera du 8 juillet 1903.

[2] Voir plus haut (fig. 130, page 17) un échantillon de minerai de Caceres.

[3] L'analyse de cette damourite m'a donné : SiO^2 45,25 ; Al^2O^3 39,40 ; K^2O 8,65 ; CaO 0,13 ; MgO 0,39. L'amblygonite tenait 47 p. 100 d'acide phosphorique, 12,60 de fluor, 9 p. 100 de lithine.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

SAXE ET BOHÊME [1]

Historique et production. — La région classique de l'Erzgebirge, aux confins de la Saxe et de la Bohême, a contenu autrefois des alluvions stannifères considérables, sur lesquelles une exploitation, qui a pu commencer dans les temps préhistoriques, s'est, en tout cas, historiquement développée depuis le XII[e] siècle. En raison même de ce travail ancien, elle est épuisée et ne fournit plus aujourd'hui qu'une production stannifère tout à fait insignifiante. Mais on s'est mis à extraire un peu de wolfram et de mica lépidolithe sur les anciennes mines de Zinnwald. Et, tout récemment, on a même rouvert quelques vieilles mines d'étain.

En 1898, le Zinnwald saxon a produit 50,5 t. de wolfram et 116,8 t. de lépidolithe. En 1907, la même mine a donné 59 t. de wolfram parfois un peu stannifère et le Zinnwald bohémien 49,9 t. On peut ajouter 3 t. de wolfram et 1,2 t. de molybdénite à Niederpöbel dans la même région.

Altenberg, qui produisait 300 t. d'étain au XVI[e] siècle et encore 80 t. en 1878-1888, n'atteint, malgré une reprise récente, que 17 t. en 1907.

Historiquement, la région de Geyer, aujourd'hui abandonnée, passe pour avoir produit, jusqu'en 1856, 15 000 t. d'étain. Enfin la Bohême, dans sa période la plus prospère, au XVI[e] siècle, donnait 5 à 800 t. d'étain par an.

Géologie générale. — Les gisements stannifères sont assez nombreux, sur environ 80 km. de long et 40 km. de large, dans le massif de gneiss et de schistes métamorphiques, où se trouvent également les filons de plomb ou d'argent dont nous aurons à parler plus tard. Rencontrant pour la première fois ici cette région, si importante par les beaux travaux théoriques auxquels elle a donné lieu, nous allons résumer, à ce propos, quelques notions générales, qui nous seront également utiles dans la suite pour l'étude d'autres métaux et montrer comment les gisements d'étain se relient peut-être, non seulement aux roches éruptives, mais aussi aux autres filons métallisés.

L'histoire géologique de l'Erzgebirge se trouve compliquée par le fait que l'on a ici un massif primaire, plissé à l'époque hercynienne, sur lequel ont agi postérieurement des dislocations tertiaires, contrecoup des mouvements alpins. Ces conditions, sur lesquelles nous allons insister en essayant de démêler quelle part est attribuable à l'un ou l'autre des mouvements dans les formations métallogéniques, ne sont pas spéciales à la Saxe. On les retrouve dans le Plateau Central et dans la plupart des autres massifs hercyniens, qui ont joué le rôle de butoirs lors des plissements oligocènes et se sont alors fendus avec effondrements et soulèvements relatifs sous le choc. Nous serons souvent amenés à établir une relation entre les minerais de ces massifs, malgré leur intercalation dans des terrains anciens, et les fractures récentes qui ont recoupé ceux-ci.

Résumée dans ses grands traits, la succession des accidents géologiques principaux reconnus en Saxe peut s'énoncer de la manière suivante, en laissant d'abord de côté les métallisations :

[1] Voir plus loin, à chaque gisement, les bibliographies de détail. Le *traité des gîtes minéraux* de FUCHS et DE LAUNAY contient, à la fin du tome 2, une carte géologique en couleurs au 1/510.000[e] de toute cette région, que nous ne croyons pas devoir reproduire.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

1° Plissements primitifs des gneiss et mise en place de granites anciens ; 2° Plissement hercynien, influençant le dinantien et suivi de venues éruptives qui semblent s'être succédé dans l'ordre suivant : *a*) Lamprophyres (kersantites, syénites micacées et augitiques à grain fin) ; *b*) microgranites ; *c*) granites stannifères ; 3° mouvements secondaires ayant déterminé un déplacement de l'Erzgebirge, par-dessus lequel le crétacé s'est déposé horizontalement ; 4° fractures et effondrements oligocènes, avec dislocation du néocrétacé, suivis d'épanchements éruptifs (trachytes, andésites, basaltes, phonolithes, etc.) ; 5° cassures récentes ayant ouvert une issue aux sources thermales, non seulement sur la grande fracture thermale qui limite le massif au Sud de Karlsbad, à Teplitz, etc., mais même sur des filons réouverts du massif lui-même, à Joachimsthal, Freiberg, etc.

Il y a lieu d'insister sur quelques points d'un intérêt spécial.

Tout d'abord, pour notre sujet actuel de l'étain, il est important de retenir que les roches, qualifiées par les Allemands de granites (granulites), avec lesquelles l'étain est en rapport direct et incontestable, sont postérieures aux microgranites (porphyres quartzifères), tels que ceux de Teplitz, dont la venue recoupe les couches carbonifères et permiennes inférieures (rothliegende). Cette postériorité s'accuse notamment à Zinnwald, où le dôme granitique traverse la grande zone Nord-Sud des porphyres de Teplitz. Par contre, d'après Beck, les mêmes porphyres quartzifères permiens recoupent, à Reichenau et Drehfeld, la venue métallifère du quartz argentifère noble (Edle Quartz), qui peut, à son tour, être encaissée dans le Gabbro. L'ordre de métallisation serait donc : 1° quartz noble entre le gabbro et le microgranite du permien inférieur ; 2° étain postérieur au microgranite.

Comme, d'autre part, les filons plombeux, puis les filons argentifères, dont il sera question plus tard, recoupent les filons stannifères à Ehrenfriedersdorf, Schlaggenwald, Marienberg, etc., toute la métallisation de la Saxe, à l'exception du quartz noble, est postérieure au permien inférieur. Il semble y avoir là tout au moins une série ancienne stephano-permienne et une autre tertiaire, que nous retrouverons en Bohême à Joachimsthal. Cette dernière doit se placer avant le pliocène ; car les filons métallifères sont tous recoupés par les basaltes et basaltes à leucite ; et certains cas accidentels de crevasses métallisées dans les basaltes peuvent être, comme nous le verrons dans un autre chapitre, attribuables à des remises en mouvement secondaires[1]. A l'appui de cette distinction en deux séries qui est classique, on peut remarquer que, malgré leur rapprochement, les systèmes de fractures, où se sont déposées les trois venues principales, stannifère, plombifère ancienne et argentifère, présentent quelque indépendance les uns vis-à-vis des autres : indépendance accusée, par exemple, dans le champ d'Annaberg.

Quand nous étudierons plus tard les filons sulfurés de plomb, zinc, etc., nous insisterons sur la disposition des champs de filon, comparable aux cassures réalisées par torsion dans les expériences de Daubrée. En ce moment où nous nous bornons au groupe de l'étain, nous devons mettre

[1] Page 84.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

en relief un autre caractère, c'est la relation constante de ce groupe avec les « granites stannifères », qu'il convient de définir.

Ces granites sont caractérisés par le groupement du quartz, d'un feldspath alcalin voisin de l'albite et d'un mica lithinifère généralement foncé. Ils sont beaucoup plus voisins des roches à mica blanc que l'on a appelées longtemps en France des granulites et dont nous nous sommes attaché à montrer l'individualité ainsi que le rôle métallogénique, que des granites proprement dits, d'ordinaire plus anciens. Nous leur conserverons néanmoins le nom de granite, sous lequel ils sont désignés en Allemagne. On y observe, d'une façon très générale, la présence de la topaze, de la tourmaline et des inclusions microlithiques d'étain dans les éléments primaires. A.-W. Stelzner a reconnu, dans le granite de l'Eibenstock, autour duquel se trouvent les mines d'étain de Schneeberg, Johangeorgenstadt, Platten, etc., des teneurs en cassitérite allant de 0,32 p. 100 dans le mica lépidolithe, à 0,01 dans les feldspaths. Le long de certaines fractures, où s'est isolée la cassitérite, le granite est remplacé, comme nous l'avons dit, par une roche altérée profondément, dite greisen ou zwitter, dans laquelle on trouve, au lieu de feldspath, un groupement de quartz, lépidolithe, topaze et cassitérite. Ces zwitters sont parfois à leur tour recoupés par des apophyses du même granite : ce qui montre que tous ces phénomènes, mise en place de la granulite stannifère, production de zwitter, isolement de l'étain, sont connexes et se sont produits dans une seule et même phase.

Avant de passer à la description détaillée de quelques gisements, nous insisterons encore sur les associations de l'étain dans ce district. Avec ce métal on trouve habituellement les métaux que nous avons signalés comme lui étant partout associés : le tungstène et le molybdène, dont on a pu faire des exploitations récentes dans les haldes des mines d'étain, le bismuth, le mispickel, etc. On rencontre, en outre, assez fréquemment une association de cuivre qui rappelle les cas industriels du Cornwall, de la Bolivie, du Yunnan, etc. D'autre part, ce cuivre existe, nous le verrons, très développé dans le groupe plombo-zincifère de la même région (Annaberg, etc.) et l'étain même est présent à l'état métallique dans les blendes de la formation pyriteuse de Freiberg. On a ainsi des types de passage de l'étain au plomb ou même à l'argent (qui lui-même se relie au plomb) montrant que, s'il y a des différences dans le mode de précipitation des fumerolles propres à chacun de ces métaux, leur origine n'en doit pas moins, suivant toutes vraisemblances, être considérée comme unique et rattachée en profondeur à de semblables magmas granitiques.

Comme types de gisements stannifères, nous n'avons en Saxe que les veines d'étain directement reliées aux granites et à peine séparées de ceux-ci. C'est pourquoi le cuivre y est relativement rare. Ailleurs, où l'association Sn-Cu se développe, nous verrons, en même temps, les minerais d'étain passer au type filonien proprement dit et fournir ainsi (Bolivie, Cornwall) quelques-uns des principaux gisements du monde. Dans le cas de la Saxe, on a beaucoup plus généralement affaire (avec des conditions industrielles défavorables), à des systèmes ou réseaux de veinules stannifères irrégulièrement concentrées dans un massif de roche qui, le long de ces filonnets, s'est transformé en zwitter stannifère. La figure 147 montre

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comment ces zones stannifères, que l'on peut qualifier de stockwerks, s'allongent, avec des directions variables, soit dans le granite porphyroïde, soit dans le porphyre quartzifère de Teplitz, soit dans le gneiss, autour de quelques pointements granulitiques (Altenberg, Zinnwald, Graupen), sur lesquels a porté la métallisation principale. Il en résulte de véritables amas stannifères, dont les types sont ceux d'Altenberg (400 m. de long et de large), de Zinnwald (1 360 m. de long et 480 m. de large), d'Hubertus près de Schlaggenwald en Bohême (120 m. de profondeur, 600 m. de circuit).

Dans une première phase d'exploitation, au XVI^e siècle, on a trouvé, sur les affleurements altérés et kaolinisés de ces stockwerks, par exemple à Altenberg, ou encore à Schwarzenberg, des enrichissements éluviaux analogues à ceux que, dans une phase moderne, on a exploités sur une plus vaste échelle au Mount Bischoff, en Tasmanie. Puis la plupart des exploitations se sont assez vite arrêtées quand on est descendu en profondeur dans la roche dure, et les travaux récents n'ont plus guère été que des glanages. En dehors de l'enrichissement superficiel tenant à la simple kaolinisation, il y a lieu de remarquer que les concentrations stannifères semblent presque partout occuper la zone périphérique des dômes granitiques, sous leur couvercle de schistes, de porphyres, etc., ainsi que le montrent les coupes d'Altenberg, de Zinnwald, etc. (fig. 148 à 150), soit qu'on ait eu, comme dans le premier cas, un réseau enchevêtré (Zwitterstock), qui se coince à 230 m. de profondeur, soit que les veines affectent le type si curieux des « couches » de Zinnwald, en écuelles à peu près concentriques à la surface extérieure du dôme lui-même. Cette remarque peut contribuer à expliquer la disparition presque complète de champs d'exploitation ayant joué un rôle notable à l'époque préhistorique.

Dans l'ordre géographique, les mines forment, du N.-E. au S.-W., une traînée située au Sud de Freiberg, à cheval sur la frontière de Saxe et de Bohême : Altenberg, Zinnwald, Graupen, Pöbel, Seifen, Marienberg, Ehrenfriedersdorf, Geyer, Buchholtz, Abertham, Sauersack, Platten, Johanngeorgenstadt, Eibenstock, etc.

On peut les classer d'après leur type dans l'ordre suivant :

1° Réseau enchevêtré de veines stannifères dans le granite (granulite) transformé en zwitter (zwitterstock) : Altenberg, Geyer, Weiss Andreas.

2° Système de fentes stannifères parallèles, ou couches horizontales dans le granite : Zinnwald.

3° Filons dans la zone de contact du granite et des schistes ou gneiss : Eibenstock, Schlaggenwald.

4° Minces filons parallèles dans le cristallophylien sans granite apparent : Ehrenfriedersdorf.

5° Filons cupro-stannifères à wolfram, molybdénite, bismuth, etc., dans les gneiss et porphyres quartzifères, se rapprochant du type Cornwall : Graupen, Pöbel.

6° Filons stannifères passant à des filons cuivreux avec galène et blende : Marienberg.

7° Minéralisations complexes avec étain, zinc, cuivre, etc., localisées dans des zones de silicates : Schwarzenberg.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC



Fig. 147. — Carte géologique des gisements d'étain d'Altenberg et Graupen (d'après Dalmer).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Altenberg[1]. — Le zwitterstock d'Altenberg (fig. 147 et 148) forme un réseau de veinules dans un dôme de granite G, qui apparaît, suivant un cercle de 900 m. de diamètre, au milieu de la granulite porphyroïde (PG ou GP), perçant elle-même les porphyres quartzifères (P.) de Teplitz. Ces veines, qui n'ont souvent que l'épaisseur d'une lame de couteau, sont suivies par une auréole de zwitter stannifère. Elles étaient, près de l'affleurement, si multipliées, que l'on a exploité d'abord toute la masse. Progressivement, elles se sont coincées pour disparaître à 230 m. au-dessous du sommet. La teneur en étain du zwitter a été (1860-1887) de 0,3 p. 100 d'étain et 0,002 de bismuth. Quelques filons présentaient une structure symétrique : au centre, quartz et molybdénite; sur la salbande, quartz, wolfram et encore molybdénite; autour, zwitter stannifère. Ailleurs, on avait bismuth, bismuthine, molybdénite et fluorine.

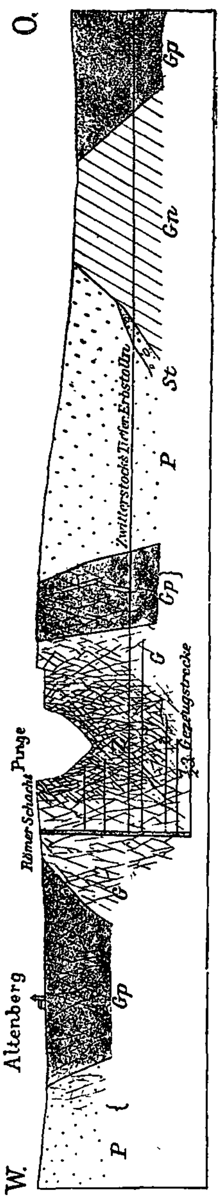


Fig. 148. — Profil E.-W. du gisement d'Altenberg, d'après K. Dalmer.
P, microgranite de Teplitz; Gp, porphyre granitoïde; G, granite; Z, zwitter; Gn, gneiss à biotite; St, grès et conglomérats carbonifères. Les accolades indiquent les limites de la zone disloquée stannifère.

Geyer[2]. — Aux environs de Geyer, dans l'Ouest de l'Erzgebirge, les micaschistes sont traversés par trois massifs d'un granite à topaze, avec filons d'étain connexes. Celui de Geyer est remarquable par une zone de contact porphyroïde, dite stockscheider, large d'environ 30 m.; il se relie souterrainement au granite de Aue qui alimente les fabriques de porcelaine de Meissen. Le stockwerk du Geyersberg, large de 240 m., est formé de ce granite traversé par d'innombrables veinules stannifères, larges au plus de 0,10 m.,

[1] 1789. Schütz. *Kurze Beschreibung des Zinnstockwerks zu Altenberg*. — 1823. Manès. *Mines d'étain de Saxe* (Ann. d. M., t. 8, p. 513, et t. 9. p. 463). — 1825. Noeggerath. *Ueber das Altenberg Stockwerk* (Jahb. f. Min., p. 562). — 1848. Freieslebel. *Beiträge zur Geschichte, etc., des sächsischen Erzbergbaues* (avec bibl.). — 1861. Cotta, p. 14 (avec bibl.). — 1865. Müller (Berg. u. Hutt. Zeit., p. 178). — 1878. E. Reyer. *Zinnerzführ. Tieferupt. von Altenberg und Zinnwald* (J. d. K. K. g. R). — 1894. Dalmer. *Der Altenberg-Graupener Zinnerz district* (Z. f. pr. G., p. 313-322). — 1896. Beck. *Beob. im Gebiete des Altenberg Zinnwalder Zinnerzlagerst.* (Z. f. pr. G., p. 148). — Beck. *Gis. met.*, t. 1, p. 275 à 279 (avec bibl.). — Coll. Ec. d. M., 1323.

[2] 1778. Charpentier. *Mineral. Geogr. d. Chursächs. Lande*, p. 203. — 1815. De Bonnard. *Essai géognostique sur l'Erzgebirge* (Ann. d. M., t. 38, p. 372). — 1838. Naumann. *Erlaüterung z. geogn. Karte von Sachsen*, cahier 2, p. 176 et 248). — 1865. Stelzner. *Die Granite von Geyer und Ehrenfriedersdorf*, etc. (Freiberg). — 1878. Credner. (Zeitsch. d. d. geol. Geselsch., t. 30, p. 518). — Beck, t. 1, 285.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qui se groupent par zones grossièrement parallèles et accompagnées de zwitter. On y trouve : quartz, cassitérite, topaze et mica, avec tourmaline, fluorine, geyerite, mispickel, peu de wolfram, de la molybdénite et de l'apatite.

Parfois, les veines de quartz et cassitérite traversent, à la fois, le granite et le gneiss au voisinage sans changer de direction ni d'inclinaison et ont, par suite, dû cristalliser postérieurement au refroidissement du granite, lorsqu'il était, par rapport au gneiss, dans sa situation actuelle. Daubrée a remarqué que, dans les gneiss, elles épousaient la schistosité de la roche encaissante et s'appauvrissaient rapidement (le centre d'émanation ayant été dans le granite).

L'exploitation de Geyer, qui date de 1315, a été un peu reprise en 1907.

Weiss Andreas. — Au type de Geyer se rattache la coupe classique de *Weiss Andreas* (fig. 149) où deux massifs de granite granulitique (dont un seul arrivé au jour) se trouvent enveloppés de micaschiste. Le plus

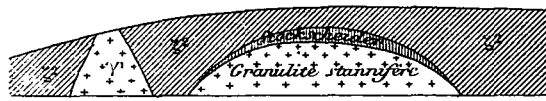


Fig. 149. — Coupe transversale théorique du gîte stannifère de Weiss Andreas (d'après Cotta).

grand dôme de granite (180 m. sur 150 m.) est, comme à Geyer, recouvert d'un stockscheider ayant, au sommet, une puissance maxima de 4 m.

L'étain s'y trouve en veines, comme à Geyer.

Zinnwald[1]. — A Zinnwald, sur la frontière de Saxe et de Bohême, le granite stannifère forme, au milieu d'un porphyre quartzifère (microgranite) qui le recouvre, un dôme surbaissé dont le sommet a été coupé par la surface du terrain. La section de ce dôme, à l'affleurement, a environ 1 360 m. sur 480 m. Le granite, à grain plus ou moins fin, généralement fortement kaolinisé, contient des nids d'hyalomicte, dont les dimensions peuvent aller jusqu'à 100 m. de diamètre.

Une série de filons, presque parallèles à la surface extérieure du dôme (fig. 150), le divisent en une succession d'assises emboîtées les unes dans les autres.

Ces filons couchés, d'une allure très particulière, et qui ressemblent un peu à des fentes de retrait mais qui pourtant se prolongent dans le porphyre encaissant, où ils s'appauvrissent, sont horizontaux sous la

[1] 1823. Manès. *Les mines d'étain de Saxe* (Ann. d. M., t. 8, p. 513 et 1824, t. 11, p. 363). — 1840. Reuss. *Das Zinnwalder Stockwerk, in den Umgebungen von Teplitz*, p. 40. — 1841. Daubrée. *Sur Zinnwald et Altenberg* (Ann. d. M., t. 19, p. 61, 72 et 83). — 1861. Cotta, p. 17. — 1879. Reyer. *Zinnerzführende Tieferuptionen von Altenberg und Zinnwald* (Jahrb. d. K. K. geol. Reichsanstalt, et Géologie des Zinnes). — Brck. I, 279. — 1908. Eberhard. *Ueber die weite Verbreitung des Skandium auf der Erde* (Sitzber : pr. Ak. d. W., t. 38, p. 851-868). — 1890-1894. Dalmer. (Sekt. Altenberg-Zinnwald der Spezialk. von Sachsen, et Z. f. pr. G., 1894, p. 313-322).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

partie supérieure du dôme granitique et plongent ensuite doucement dans tous les sens. Ils ont de 0,10 m. à 0,75 m. de puissance. Les intervalles qui les séparent sont de 6 à 12 m. dans le haut, de 20 à 40 m. dans le bas. Une quinzaine d'entre eux sont exploitables. Ils sont, généralement, mal séparés de la roche encaissante qu'ils ont transformée en zwitter et leurs parties extérieures paraissent seulement une continuation recristallisée de la roche. Le remplissage est à peu près symétrique : lépidolithe sur les salbandes ; puis zone centrale quartzifère et stannifère, avec développement maximum du wolfram et de la cassitérite sur le bord, mais aussi avec des géodes centrales où reparaissent les minerais accompagnés de fluorine et de schéelite. L'exploitation actuelle porte surtout sur le wolfram ; mais on a galène, chalcosine, cuivre gris, blende, topaze, tourmaline, pycnite, etc. On trouve, dans des géodes, des cristallisations splendides de quartz ayant jusqu'à 30 cm. de long et 17 cm. de large.

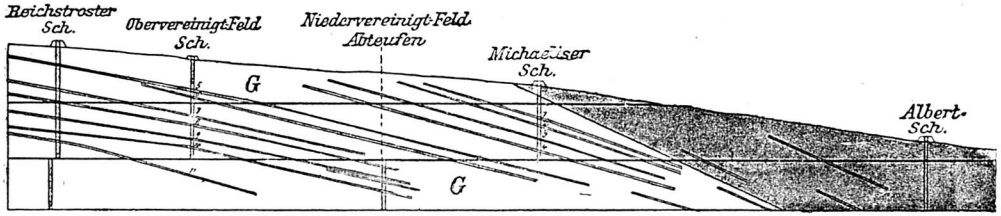


Fig. 150. — Coupe de la partie Nord du massif stannifère de Zinnwald, d'après K. Dalmer.

G, granite, en grande partie transformé en greisen ; zone sombre à droite, microgranite de Teplitz. 1-4, filons Michael ; 5, Tage Flötz ; 6, Ober Flötz ; 7, Mittel Flötz ; 9, obere kiesige Flötz ; 10, niedere kiesige Flötz ; 11, artige Flötz.

Tous ces caractères sembleraient pouvoir s'expliquer par une combinaison d'actions volatiles et hydrothermales ayant rapidement succédé à la mise en place de la granulite. La métallisation s'est faite néanmoins en plusieurs temps, comme le prouvent des cristaux de cassitérite cassés et ressoudés.

La teneur en étain des parties exploitées était de 0,2 à 0,8 p. 100. La proportion du wolfram est à peu près triple. Ce wolfram contient parfois jusqu'à 0,2 d'oxyde de scandium. Il existe, en outre, quelques filons verticaux et veines de greisen.

Eibenstock. Schlaggenwald[1]. — Le grand massif granitique de l'Eibenstock, et celui de Karlsbad qui le prolonge, offrent, sur leur périphérie, toute une série de filons stannifères (pegmatites ou quartz) injectés dans les schistes ou le gneiss, sur lesquels on a travaillé à Aue, Sosa, Auersberg, Schneckenstein, Johanngeorgenstadt, Platten, Schlaggenwald, etc.

[1] 1856. Jantsch. (Z. d. mont. Ver. im Erzgebirge, n° 7, 8, 9). — 1857. Sternberger. (Ostr. Zeitsch. f. B. u. H., p. 62). — 1858. Glückselig. (Amtl. Bericht der Vers. deutchs. Naturf. und Aerzte. Vienne, p. 66). — 1861. Cotta, p. 199. (Liste des minéraux de Schlaggenwald). — 1864. Ant. Rücker. *Beitr. z. Kenntn. d. Zinnerzvork. b. Schlaggenwald* (J. d. K. K. geol. Reichs., t. 14, p. 311). — 1904. Slavik. *Min. Not. zur Kenntn d. Min. von Schlaggenwald* (Z. f. Kristal, t. 34, p. 294-301). — 1905. Cornu. *Zur Kenntn. d. Schaggenwald Mineralvork.* (Tscherm. Mit., t. 24, p. 334-338).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le granite de l'Eibenstock est, d'ailleurs, un de ceux où l'on a reconnu la présence des microlithes stannifères et il est, en même temps, riche en tourmaline et en topaze. Au voisinage, il s'est produit des schistes à tourmaline avec cassitérite qui ont été exploités à Auersberg. Une brèche, formée de schistes analogues cimentés par du quartz et de la topaze, constituait le gisement de topaze célèbre de Schneckenstein près d'Auerbach.

A Schlaggenwald on a, outre des filons semblables, trouvé des stockwerks de greisen stannifère qui ont donné lieu à de grandes tranchées à ciel ouvert. On y remarque le recoupement des filons stannifères par des filons cobalto-argentifères.

Ehrenfriedersdorf. — En ce point (4 km. N.-E. de Geyer), où le granite n'apparaît pas au jour, les gisements, encaissés dans le cristallophyllien, ont pris l'allure de minces filons parallèles E.-N.-E., espacés de 0,30 m. à 1 m. et larges de 0,05 m. à 0,20 m. On y trouve beaucoup de topaze, de wolfram, de la cassitérite, du mispickel, de la molybdénite, de l'apatite, de la sidérose, de la blende, de la fluorine, de la phénakite, etc. Là où les filons rencontrent des syénites micacées à grain fin qui recoupent les gneiss, ils se bifurquent. Ailleurs (Prinzler Zug), ils ont pénétré dans un banc de grenat et salite, qui s'est imprégné de mispickel, chalcopyrite, blende, pyrite et parfois fluorine. Le Prinzler Zug est nettement traversé par des filons de cobalt et d'argent.

Graupen[1]. — La zone stannifère de Graupen est à cheval sur le porphyre quartzifère de Teplitz, le porphyre granitoide, les gneiss et le granite. L'étain y est en relation avec un massif de granite, qui traverse les gneiss et porphyres quartzifères en y lançant des apophyses. On a travaillé autrefois sur des formes de gisements très diverses : ici sur un stockwerk ; là sur un granite chargé de topaze et d'étain ; ailleurs sur un filon de microgranite transformé en zwitter ; enfin sur de véritables filons à Mückenberg, au Steinknochen et au Knötel. Les gisements sont caractérisés par leur type pegmatoïde, association du quartz et de l'orthose (perthite) dans les filons, puis par l'abondance de la fluorine dans les veines et de la topaze dans le zwitter qui les entoure. Les mêmes filons, qui contiennent l'étain au Mückenberg, près d'Obergraupen, y renfermaient aussi du cuivre en proportions exploitables, ce qui les rapproche du type Cornwall.

Pöbel. — La même association cupro-stannifère se retrouve en quelques autres points de ce district, à Schmiederberg, Niederpöbel et Pöbel (Sadisdorf), au N.-W. d'Altenberg, où l'on a exploité jadis un stockwerk à minéralisation de cuivre et d'étain, dans le gneiss, avec granite recoupé par les travaux de profondeur. D'après R. Beck, les travaux récents de Nieder Pöbel pour wolfram et molybdénite ont recoupé un filon principal, qui, au mur, contient du quartz avec paquets et nids de wolfram, recoupé

[1] 1844. (Jahrbuch. für den sächsigen Berg. u. H., p. 35). — 1858. Jokély. (Jahrb. d. geol. Reichs., p. 552). — 1864. Laube. (Jahrb. d. KK. geol. Reichs., p. 159). — 1868. Th. Schiller et P. Lewald. *Das Zinnerzvorkommen zu Graupen* (dans Hallwich. Geschichte von Graupen. Prague). — Beck, t. 1, p. 283.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

par des veines de quartz secondaire à cassitérite, que traversent elles-mêmes des filets de fluorine.

Au toit, la masse de quartz est riche en molybdénite avec zinnwaldite et recoupée par une brèche de friction contenant du quartz avec débris de molybdénite et, dans les vides, bismuth et bismuthine. Le granite, au contact, est transformé en un zwitter riche en chlorite renfermant des sulfures divers, pyrite, chalcopyrite, etc., avec molybdénite, wolfram, fluorine, apatite, etc., et présentant un filonnet de barytine avec aiguilles de bismuthine cuprifère, wolfram manganésifère (hubnerite) et enduits de fluorine.

Marienberg. — Le district de Marienberg présente, lui aussi, l'association du cuivre et de l'étain. On y a exploité autrefois, à Martersberg et Wildsberg, de nombreux filons d'étain encaissés dans le gneiss et recoupés par des filons plus récents cobalto-argentifères. Ce système filonien qui, à l'Ouest du Wildsberg, est nettement stannifère, passe à l'Est à des types cuprifères avec galène et blende. On a remarqué des enrichissements à la rencontre de certaines intercalations pyriteuses et hydrocarburées des gneiss (Schwarze Flötze), jouant le rôle si fréquemment attribué ailleurs aux salbandes.

Schwarzenberg (Saxe)[1]. — Les gisements de Schwarzenberg, dans l'Ouest de l'Erzgebirge, forment deux zones concentriques dans un système de micaschistes, reposant sur des gneiss qu'ont traversés des granites. Ils suivent nettement des calaires métamorphisés, qui ont été transformés partiellement en silicates (pyroxène, grenat, etc.) avec développement de divers minéraux accusant les actions de pneumatolyses fluorées ou boriquées, comme la fluorine, l'axinite, la tourmaline, etc.

Les minerais, qui se sont développés dans ces groupes silicatés, comprennent de la magnétite, associée aux silicates et formant des lentilles, sur lesquelles ont porté des exploitations nombreuses. Notons, en outre : soit le groupement sulfuré, zinc, plomb et cuivre avec quartz ; soit celui de l'étain, du molybdène et du tungstène.

Dans le premier système, on a blende, galène, chalcopyrite, pyrite, pyrrhotine, mispickel et minerais d'argent rares; dans le second, cassitérite, molybdénite, mispickel et wolfram rare, avec fluorine, tourmaline, etc. La proportion des éléments est extrêmement variable comme dans toutes les métallisations complexes, en sorte que tel gisement forme une mine de zinc et tel autre une mine de plomb ou de cuivre. Le système de l'étain se distingue souvent de celui des sulfures, mais peut également se confondre avec lui.

Les sulfures sont, tantôt finement disséminés, tantôt isolés en veinules, ou grains dans la gangue de salite (souvent transformée en actinote), grenat, épidote, chlorite, pénétrant parfois dans les fissures de ces minéraux. Leur minéralisation, très irrégulière, forme, au milieu de la zone de

[1] 1884. F. Schalch. *Erläut. zu Section Schwarzenberg der geol. Spezialkarte.* — 1897. Dalmer. *Die Erzlager von Schwarzenberg im Erzgebirge* (Z. f. pr. G., p. 265-272). — 1900. R. Beck. *Ueber die Erzlagerst. von Schwarzenberg* (Z. d. D. G. G., p. 58-60 ; cf. J. f. d. B. u. H. im Kön. Sachsen, 1902, p. 51-57 et 1904, p. 56-96) ; *loc. cit.*, t. 1, p. 128.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

silicates, intercalée elle-même dans les micaschistes, des taches ou auréoles qui, d'après les coupes de Beck, partent nettement de certaines fissures, en particulier dans la mine de Sankt-Christoph, près Breitenbrunn (mispickel, blende et chalcopyrite), ou dans les mines Gelbe Birke et Herkules Frisch Glück, exploitées uniquement pour blende.

L'étain et ses satellites sont loin d'apparaître partout. Mais diverses mines de cette région, Sankt-Christoph, Fortuna, Kaltwasser, etc., ont été exploitées au XVI[e] et au XVII[e] siècle pour étain et magnétite. En profondeur, l'on y a trouvé de plus en plus de pyrite et de moins en moins d'étain. A Breitenbrunn, l'étain se montre accidentellement.

Pour R. Beck, ces minerais divers sulfurés ou oxydés sont le produit d'une introduction postérieure dans la gangue de silicates et non d'une métallisation connexe de la production de ces silicates, comme dans les types Banat précédemment décrits. Néanmoins, la grande analogie de ces gisements avec ceux de Pitkäranta et Orijärwi, en Finlande, ou même Räfvala et Ammeberg, en Suède, etc., nous fait penser que, dans tous ces cas, la formation des silicates et la métallisation sont seulement deux phases d'un même phénomène lié aux actions granitisantes qui ont produit le métamorphisme régional.

Alluvions stannifères de l'Erzgebirge[1]. — Les nombreux gisements d'étain de l'Erzgebirge ont donné naissance à des alluvions, dont l'exploitation remonte historiquement au moins au XII[e] siècle. Elles se sont formées souvent presque sur place le long des granites dont elles dérivent et l'on y retrouve naturellement des débris des roches et minéraux associés à l'étain.

On cite, comme ayant été particulièrement productif, le district de l'Auersberg près d'Eibenstock, puis les alluvions de Fletschmaul, près Wildenthal, signalées par Agricola, celles de Johanngeorgenstadt, Geyer, Altenberg, Zinnwald.

Il y a lieu de signaler spécialement des alluvions tertiaires (oligocène ?) qu'une coulée de basaltes à néphéline ou à leucite a préservées près d'Abertham.

Les couches pyriteuses profondes de ce dépôt contenaient assez de cassitérite pour qu'on ait pu les exploiter souterrainement.

B. — ÉTAIN PRIMAIRE D'ASIE

SIBÉRIE

Les chaînes hercyniennes asiatiques, qui partent de l'Inde pour aboutir en Malaisie et en Chine, sont, nous allons le voir, riches en étain.

L'étain est exceptionnel, au contraire, dans la chaîne du même âge qui occupe le Sud de la Sibérie[2]. On ne l'a signalé qu'en deux

[1] 1890. SCHURTZ. *Der Seifenbergbau im Erzgebirge und die Walensagen* (Stuttgart, avec bibl.). — BECK. t. 2, 436 à 439.

[2] 1911. L. DE LAUNAY. *Richesses minérales de l'Asie*, p. 531. Nous étudierons, plus loin, p. 68, le peu d'étain tertiaire qui apparaît en Arménie et dans le Caucase.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

points sans importance à *Olovionaia* (*Olovo*, étain) et *Adun Tcholon*.

La mine d'Olovionaia, découverte en 1811, est entre les rivières Koussoli et Tsotsouli, affluents de l'Onon, à 250 km S.-W. de Nertchinsk. Au milieu des schistes argileux grisâtres passant à des gneiss, on observe, sur 100 m. de long, des veinules quartzeuses avec cassitérite, larges au maximum de 0,10 m., qui s'insinuent dans les schistes en les recoupant, se coincent et se ramifient. Les salbandes sont formées de greisen à gros grains. L'étain est accompagné de ses satellites ordinaires, beryl, etc.

Les filons de pegmatite d'Adun Tcholon, dans le district de Nertchinsk, sont célèbres par les minéraux précieux qu'on y exploite, beryl, topaze, etc. On y rencontre un peu de cassitérite et de wolfram.

INDE

Si nous parcourons maintenant la grande zone stannifère du S.-E. de l'Asie, nous pouvons commencer par l'Inde.

Dans la péninsule indoue, les gisements d'étain sont rares. Ils apparaissent seulement dans le Chota Nagpur, le Bengale, etc., en des régions où des plissements calédoniens ont influencé la série cambro-silurienne des Cuddapah, en relation avec des granites et pegmatites, dans lesquels on exploite, d'autre part, du mica blanc.

Le district d'*Hazaribagh*, dans le Chota Nagpur (Chutia Nagbur), est un des points de l'Inde où la cassitérite paraît le plus abondante. Le principal gisement de ce côté est celui de Nurgo, ou Nurunga (24°,10; 86°,7), à 11 km. Ouest de Karharbari. Il s'y est passé, en 1867, un petit incident qui est de nature à éclairer l'histoire si obscure de l'étain préhistorique. Des fondeurs de fer indigènes apportèrent alors à la ville voisine une substance qu'ils croyaient être de l'argent, obtenue en fondant quelque chose d'analogue à leurs minerais de fer habituels (en réalité de la cassitérite). C'est à la suite de cet incident qu'une mine fut ouverte. Le gisement se compose de plusieurs lits interstratifiés dans le gneiss et, selon toutes probabilités, formés de pegmatite. Dans les mêmes conditions de gisement, le Chota Nagpur a fourni un peu de molybdénite. Ailleurs, dans le Bengale, à *Siratari*, on a trouvé, dans une lentille de granite au milieu de micaschistes, de la cassitérite avec apatite et béryl, qui n'a qu'un intérêt minéralogique.

De l'autre côté de l'Inde, dans la *présidence de Bombay*, on a signalé, à diverses reprises, des échantillons minéralogiques de cassitérite. La plus récente découverte de ce genre a été faite, en 1904, à Hosainpura, état de Palanpur, présidence de Bombay. L'étain est associé avec de la gadolinite dans une pegmatite à tourmaline [1].

A *Ceylan*, la cassitérite a été trouvée en échantillons minéralogiques dans des alluvions à *Niriella* (*Ratnapura*) ; la thorite (que l'on peut en rapprocher comme groupe métallogénique), également en petites quantités, dans des alluvions à *Kondurngala*, province de Sabaragamuwa.

Mais, si l'étain est rare dans la plateforme primitive de l'Inde, on trouve, au contraire, une véritable chaîne stannifère d'une continuité et d'une

[1] Rec. Geol. Surv. Ind., t. 31, 43.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

richesse remarquables quand on passe à la partie Sud-Est du continent asiatique, où des traînées de granites à quartz isolés, du type granulitique, accompagnent des plissements, toujours post-siluriens, souvent post-carbonifères, parfois réitérés à l'époque tertiaire. La zone stannifère existe dans le Yunnan et le Haut-Tonkin ; on la retrouve dans le Laos. A l'origine de la presqu'île de Malacca, dans une dépendance anglaise de la Birmanie inférieure, les districts de Ténassérim et de Mergui présentent de l'étain et sont ainsi les seuls à fournir la production de ce métal, rapportée par les statistiques à l'Inde. Puis viennent le Siam, les districts classiques de Pérak, Pahang, Bangka, Billiton, Singkep, etc.

BIRMANIE[1]

La zone stannifère hercynienne, qui tient tant de place dans le Sud-Est de l'Asie, s'annonce dans le *Karenni* des Southern Shan States et dans la Birmanie méridionale, autour de *Ténassérim* et de *Mergui*. Ces deux districts, quoique donnant lieu à une petite production, sont sans importance économique à côté de ceux que nous allons envisager ; mais ils sont intéressants comme marquant l'extension vers le Nord de la traînée stannifère que nous allons voir prendre un tel développement dans la région des Détroits. Cet étain du Ténasserim est associé avec un greisen analogue à celui de Saxe, dans des veines qui contiennent, en même temps, du wolfram, comme dans tous nos districts stannifères des chaînes hercyniennes européennes.

En allant, du Nord au Sud, du 13e au 10e degré, on cite Palouk, Mergui, Kings Island, Kahan Hill, Thawbawleek, Yagnan, Boping, Choung-Tanoung, Pakchan, Ma-lee-won. Ces gisements, qui se prolongent à l'Est sur le territoire siamois, donnent lieu à de petites exploitations d'alluvions ; le gisement originel paraît toujours être à peu près le même.

SIAM[2]

Le *Siam* a une industrie stannifère assez importante, dont les chiffres de production sont mal connus (environ 4 à 5 000 t. d'étain, paraît-il).

[1] L. De Launay, *Asie* (p. 693 à 695, 722 et bibl.). Voir encore : 1841-1886. Tremenheere, G.-B. *Report on the Tin of the Province of Mergui* (Jour. As. Soc. Beng., t. 10, 845-851 (1841) ; t. 11, 24, 289 (1842) ; t. 11, 839-851 (1842) ; Col. Journ. Nat. Hist., t. 3, 47-54 (1843) ; Sci. Rec. Beng. Gov., t. 6, 5-11 (1852) ; *Burma*, 350-356 (1832) ; Indo-China, n° 1, I, 251-259 (1886) ; Indo-China, I, 260-271 (1886). — 1843. Royle, J.-F. *On the Tin mines of the Tenasserim Province* (Proc. Geol. Soc. Lond., t. 4, 165-167). — 1872. Cooke, C.-B. *Tin ressources of Tennasserim* (Ind. Economist, t. 3, 148-149). — 1872. Fryar, Mark. *Report on some mineraliferous localities of Tenasserim* (Ind. Economist, t. 4, 42-43). — 1873. Theobald. W. *Stray notes on the metalliferous ressources of British Burma* (Rec. Geol. Surv. Ind., t. 6, 90-95). — 1882- Fryar, Mark. *Report on some mineraliferous localities of Tenasserim* (Burma, p. 413-444). — 1882. Theobald. W. *Stray notes on the metalliferous ressources of British Burma* (Burma, 406-413). — 1882-1883. Theobald and Mason. F. *Burma, its people and productions*, 2 vol. in-8°, Hertford (Geology and Mineralogy, t. 1, p. 1-15). — 1882. *Burma* (Papers on the Geology and minerals of British Burmah, reprinted by order, etc., in-8°, Calcutta). — 1889. *Tin-mining in Mergui district* (Rec. India, t. 22).

[2] *The mineral Industry* of 1907, p. 870.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Cette industrie porte surtout sur l'île de *Junk-Seylon* (8e degré), dont la capitale est Puket, à l'extrémité Sud de la chaîne birmane. La Straits Trading Co, qui travaille là avec usine de fusion à Panang, aurait, dit-on, produit, avec une autre compagnie, 4 231 t. On a commencé, en 1907, à draguer la baie de Puket. En outre, l'île de Tongkah a produit 1 109 t.

Des gisements importants, que travaillent les indigènes, sont signalés sur la côte orientale de la presqu'île à *Lang-Suon*, où doit passer la ligne de Hong-Kong.

Plus au Sud, du 5e au 6e degré, le pays de *Kédah*, qui touche aux Etats Malais, est également dans les mêmes conditions stannifères.

PRESQU'ILE DE MALACCA[1]

Le groupe anglais des *Détroits* (Straits Settlements), comprend, dans la presqu'île de Malacca, les petits états de Pérak, Sélangor, Négri Sembilan et Pahang, confédérés sous le protectorat de la Grande-Bretagne. La formation stannifère qu'on y exploite se prolonge par les îles hollandaises de Bangka, Billiton et Singkep, étudiées plus loin.

Les conditions de gisements, dans toutes ces régions, qui tiennent la tête de la production mondiale, sont, comme nous allons le voir, tout à fait analogues.

[1] *Asie*, p. 723 à 726 et bibl. p. 720. — Voir encore : 1848. *On the metalliferous deposits of the Malay Peninsula* (Edin. New. Phil. Journ., t. 45, 332-335). — 1851. J.-R. Logan. *Notice on the Geology of the Straits of Singapore* (Quar. journ. Géol. Soc., t. 7, p. 310-344 ; carte). — 1865. Van Diest. *Bangka beschreven in Reistogen* (traduit en anglais par Le Neve Foster, 1867). — 1879. Reyer, *Zinn in Birma, Siam und Malakka* (Œsterr. Zeitschr. Berg. Hütt., p. 563). — 1879. Reyer, *Banka und Bilitong* (Œsterr. Zeitschr. Berg. Hütt., t. 27, p. 384-385 ; Nature, vol. 20, p. 624). — 1879. Doyle, P. *On some Tin Deposits of the Malay Peninsula* (Quart. Journ. Geol. Soc., t. 35, 229-232. — 1879. Doyle. P. *Tin mining in Larut*, 8e, London.— 1882. J. Errington de la Croix. *Les mines d'étain de Pérak* (Arch. des Mis. sc. et lit., 3e sér., t. 9, 80 p. et 13 pl.). — 1883. J. Errington de la Croix. *Le royaume de Pérak* (Bul. Soc. Géogr., 7e sér., t. 4, p. 333-352 ; cartes). — 1884. J.-E. Tenison-Woods. *Geology of the Malayan Peninsula* (Nature, t. 30, 76, cf. ibid., t. 30, 264, et, 1886, t. 33, p. 231-232). — 1886. J. de Morgan. *Note sur la géologie et sur l'industrie minière du royaume de Pérak et des pays voisins* (Ann. des Mines, 8e sér., t. 9, p. 368-444, pl. 8-10). — 1856. Hale, A. *On mines and miners in Kinta, Perak* (Jour. Straits As. Soc., p. 303-320). — 1886. Th. Posewitz. *Die Zinninseln im Indischen Oceane* (J. d. kgl. ungar. geol. Anstalt, t. 8). — 1887. Th. Posewitz. *Das Zinnerzvorkommen und die Zinnerzgewinnung in Bangka.* — 1888. Roemer. *Ueber das Zinnstein Vorkommen auf Banca und Billiton* (Jahresber. der Schles. Gez. f. Vaterl. Cultur, t. 66, Breslau). — 1887. Posewitz. *Das Zinnerzvorkommen auf den Inseln des Riou-Lingga-Archipel* (Dr Petermanns Mittheilungen, t. 33, Gotha). — 1888. J. Errington de la Croix. *Les mines d'étain de Selangor (presqu'île malaise) et les concessions d'Ayer Itain.* — 1893. Fuchs et De Launay. *Gites métallifères*, t. 2, 148 à 155 et bibl. — 1896. Henry Louis. *Les alluv. stann. de la presqu'île de Malacca* (Western Daily Mercury, mars 1895 ; C. R., Z. f. p. G., 1896, 233 et 271). — 1897. R.-D.-M. Verbeck. *Geologische Beschrijvning van Bangka en Billiton* (Jahrbock van het Mijnwesen in Nederlandsch. Oest Ind., avec 9 feuillets de cartes ; analysé par R. Beck dans la Z. f. pr. G., 1898, p. 121 à 127, 1899, p. 134-136). — 1898. H. Warington Smyth. *Journeys in the Siamese Coast States* (Geogr. Journ., t. 11, p. 465-492 ; carte). — 1901. R.-B. Newton. *Geol. Litt. of the Malay Pen.* (Geol. Mag. Dec. 4, t. 8, p. 121-135). — Suess. (*Loc. cit.*, t. 1, 592, t. 3, 30). — 1904. J.-G. Bousquet. *Les rich. min. des Indes or. néerl.* (Mém. Soc. Ingén. civils, avril, 62 p., carte). — Coll. Ec. d. M., 1510, 1520, 1536, 1561 à 1563, 1804, 1947, 2402. — Voir la production plus haut, p. 5.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

En deux mots, on a partout des terrains précarbonifères métamorphisés par le granite, avec production, dans les zones stannifères, de cette sorte de roches spéciales, pauvres en feldspath, riches, au contraire, en quartz et mica blanc et en minéraux accessoires, topaze, cassitérite, etc., que l'on appelle des greisen. C'est dans le voisinage immédiat de ces greisen que se trouvent toujours les veines et filons stannifères, dont proviennent à leur tour, d'abord des gisements remaniés sur place ou éluviaux, puis des terrains de transport alluvionnaire à courte distance, qui constituent la plus grande partie des exploitations.

D'après Burthe, le premier gisement filonien découvert dans la presqu'île de Malacca aurait été trouvé, en 1889, au lieu dit Mahlembu, état de Pérak, district de Krista. En 1890, on a découvert les filons de Guntang, Kékak, Kliang-Baru, Pétai-Chabang, Pernibilan et Cleydang. Depuis, les trouvailles de ce genre se sont multipliées, d'autant plus que, suivant une remarque très générale, déjà rappelée par nous précédemment, les minerais alluvionnaires, aussi bien l'étain que l'or, se trouvent d'ordinaire à une distance assez faible de leur origine et parfois même sont restés sur le terrain même dont ils proviennent : ce qui facilite les recherches.

Les filons que nous venons d'énumérer, sont souvent encaissés dans les calcaires (ouraliens) en contact avec la granulite (Chongkat Pari). Celui de Pétai est dans la granulite même. D'autres, ailleurs, sont interstratifiés dans les schistes métamorphisés. Les filons encaissés dans le calcaire sont irréguliers, comme toutes les métallisations que l'on rencontre dans ce genre de terrains. Ils présentent d'assez fréquents branchements. Leur épaisseur peut atteindre 1 m. à 1,80 m. Le filon de Pétai, encaissé dans le granite, est plus régulier et a pu être suivi sur 80 m. de long. Partout on trouve l'étain à l'état de cassitérite disséminée dans une gangue quartzeuse, avec accompagnement de quelques sulfures métalliques, dont les principaux sont la pyrite de fer, le mispickel et la pyrite cuivreuse. Habituellement, l'oxyde d'étain est si fin et si intimement mélangé aux pyrites, qu'il faut griller, puis laver ces minerais sulfureux, pour le reconnaître. On rencontre cependant aussi des grains de cassitérite atteignant la grosseur d'une fève, et, tout à fait exceptionnellement, à Pétai, on a eu quelques blocs de cassitérite presque pure pesant jusqu'à 100 kg. Ailleurs (Mahlembu), on a pu trier des minerais rendant 10 p. 100 d'étain. La pyrite de cuivre est assez fréquente, comme cela se produit dans tant de gisements stannifères (Cornwall, Bolivie, Yunnan, etc.), mais peu abondante. On l'estime à peine à 1 à 2 p. 100. Ces gisements pyriteux ont été d'ordinaire oxydés, avec formation d'hématite à la surface.

Il en est résulté, par un remaniement sur place, auquel on a donné le nom d'éluvial, des minerais d'un type assez particulier, qui méritent une mention spéciale, d'autant plus que nous en retrouverons bientôt l'équivalent dans le Laos. D'après une description de Philipps-Louis, ces gisements se trouvent sur les deux versants de la chaîne malaise, en particulier à Bukit-Ebu, près de Kernai, et à Dreda et Goa Tumbus, dans le Jalor. Là, on a des sables quartzeux riches en cassitérite, cimentés par de l'hématite qui résulte manifestement de l'altération de la pyrite et du

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mispickel, compagnons ordinaires de l'étain. Ces masses, reposant sur le granite, sont assez dures pour qu'il faille les passer au pilon avant de les laver. On les exploite dès que leur teneur dépasse 1 p. 100 de cassitérite. Mais, par endroits, on atteint des teneurs beaucoup plus élevées. Un de ces gisements, au voisinage duquel il existe de la galène, renferme, avec la cassitérite, des minerais altérés de plomb, anglésite, cérusite, pyromorphite, mimétèse.

Enfin, les alluvions stannifères se rencontrent dans la plupart des vallées : notamment, sur la côte Ouest, dans les états de Pérak, Sélangor et Sounjei-Ujong ; puis, à l'intérieur, dans les états de Jélébu et de Négri Sembilan ; enfin, sur la côte Est, dans l'état de Pahang.

Errington de la Croix a donné, des alluvions stannifères de Pérak, une description, à laquelle nous emprunterons quelques détails.

Les plus riches gisements sont au débouché, dans la plaine, des ravines qui sillonnent la montagne et jusqu'à 1 km de la montagne. Après quoi, l'appauvrissement, quand on s'éloigne de la montagne, est rapide. La région stannifère présente, comme d'habitude, des grains plus gros, mais moins bien préparés mécaniquement et moins réguliers, près de son origine, puis des couches à teneur moindre, mais plus constante. Naturellement, la teneur varie beaucoup suivant les points ; mais elle est rarement aussi forte qu'on se l'imaginerait d'abord d'après l'antique réputation du pays. C'est surtout son extension qui fait sa valeur.

A la surface, on trouve, d'abord, une couche de terre végétale et d'alluvions pauvres, que l'on a parfois enlevée sur 24 m. de puissance, mais qui, plus généralement, est moindre (7 à 8 m. à Pérak). Au-dessous, vient l'alluvion utilisable. Par exception, en un point, à Sorakai et Kinta, dans l'état de Pérak, on aurait, d'après H. Louis, trouvé 24 m. d'alluvion stannifère exploitable à près de 1 p. 100 sous 6 m. de stérile. Ce sont là des conditions anormales ; 2 à 3 mètres d'épaisseur utile sont des conditions déjà très favorables ; 1,20 à 1,50 m. est une moyenne convenable, et, généralement, quand l'épaisseur augmente, la teneur moyenne diminue. En profondeur, on a l'habitude de s'arrêter à une couche d'argile blanche, qui représente la kaolinisation sur place du bedrock granitique. Quant à la teneur, elle peut atteindre 6 p. 100, mais aussi descendre au-dessous de 1 p. 100. Voici quelques chiffres : Kong-Loon, 0,93 p. 100 d'étain ; Toualan-Lengo, suivant les centres, 1,44, 1,80 et 5,46 p. 100. Dans toute la vallée de Lahat, la teneur se tient autour de 1 p. 100.

Les points les plus exploités du district de Pérak étaient, il y a quelques années : au Nord, les territoires de Soungi-Kréan et Sélama, sur la frontière de Kédah, la région de Laout, les deux régions du Haut et du Bas-Pérak, et enfin celle de Soungi-Slim.

La même région présente, en association métallogénique avec l'étain, d'autres métaux que nous sommes habitués à trouver dans le même groupe, et, en particulier, l'or qui n'est pas sans un certain intérêt pratique dans ce pays, puis le tungstène (wolfram ou schéelite).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

BANGKA, BILLITON ET SINGKEP.

Les îles de Bangka et de Billiton ont renfermé les gisements d'étain les plus importants du monde. On y exploite des alluvions, aujourd'hui presque épuisées et, accessoirement, les filons dont celles-ci dérivent. L'exploitation de Bangka a commencé en 1718 et a pu produire, depuis ce temps, 450 000 t. d'étain. En 1896, Bangka a produit 5 200 t. d'étain ; en 1908, 11 670 t. A Billiton, on a atteint 4 700 t., pour tomber à 2 250 t. en 1910.

Ces deux îles, assez accidentées, sont composées de grès et de schistes fortement redressés, sans doute précarbonifères, avec des massifs granitiques qui les traversent en les métamorphisant.

A Bangka et Billiton, les filons stannifères recoupent le granite et les schistes anciens. Dans le granite, il y a plutôt une sorte d'imprégnation partant de fissures que des filons proprement dits. Le granite, au contact, a subi l'habituel métamorphisme qui a produit un greisen renfermant de la cassitérite et de la topaze. Les filons eux-mêmes contiennent, en dehors de la cassitérite, ses satellites habituels, de la pyrite, du wolfram, souvent de la tourmaline. Le spath-fluor est absent et la topaze exceptionnelle. On y signale la présence fréquente de la magnétite, sans qu'il soit bien précisé si cette magnétite est de formation originelle, ou se rattache aux altérations de surface qui ont joué un très grand rôle. Dans cette dernière hypothèse, cette magnétite serait à rapprocher de l'hématite qui accompagne la cassitérite dans l'Annam, en Toscane (Campiglia Marittima), etc. La sidérose se présente parfois en même temps que la pyrite. De gros blocs stannifères, arrivant à peser 1 000 kg, qu'on a trouvés dans la partie Est de Billiton, paraissent provenir d'un enrichissement aux affleurements, dont le processus demeure obscur.

Les alluvions ont généralement subi un transport assez faible. On les distingue en deux classes : 1° produits éluviaux ou sans transport, dits « Kulit », ou alluvions de montagne ; 2° alluvions de transport, « Kollong », ou alluvions de vallée. La première catégorie résulte d'une destruction presque sur place et c'est là, naturellement, qu'on a rencontré les fragments les plus volumineux, notamment des masses de cassitérite de près d'une tonne, dont on ne trouve plus jamais l'équivalent sur les affleurements des filons actuels. Dans les alluvions des vallées, les roches détruites ont subi une préparation mécanique plus complète. Sur les coupes, on voit, à la base, le soubassement, avec son granite, ses schistes métamorphiques, ses quartzites et ses filons stannifères. La couche riche en minerai (kaksa) est immédiatement sur ce terrain de base qu'on nomme « kong », dans les conditions habituelles à tous les minerais d'alluvions, dont la couche riche recouvre toujours le bed-rock. Immédiatement au-dessus vient un sable grossier, qui passe progressivement à un sable fin. Très rarement il y a, dans certains gîtes, deux lits d'alluvions riches, séparés par des schistes. La kaksa contient parfois 2 à 4 p. 100, exceptionnellement même 10 p. 100 d'étain, plus ordinairement 0,80 à 1 p. 100. Elle est formée surtout de quartz, tantôt en grains, tantôt en gros blocs friables formant 80 à 95 p. 100 de la masse, avec de l'argile. On y trouve,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

en même temps, toute une série de minéraux denses ou durs, qui se sont concentrés avec l'étain : hématite, traces d'or, quartz, tourmaline, topaze, monazite, urane, cuivre natif, galène, obsidienne en sphères, etc. A Singkep, on a récolté un peu d'or, et, à Billiton, du wolfram. Le terrain stérile, qui recouvre l'alluvion, peut avoir 4 à 16 m. Quand on approche de l'embouchure des rivières, on a des sables beaucoup plus fins, qui ne renferment plus que de la poussière d'étain.

LAOS (BAN-TA-COUA)[1]

La formation stannifère se retrouve dans le Laos à Ban-ta-coua, où l'on a fait un essai d'exploitation malheureux (Nam-hin-boun). Ce gisement est situé à environ 100 km. amont de Savannaket sur le Nam-patène, petit affluent du Hin-boun, qui lui-même se jette dans le Mékong à Pak-hin-boun. Il est constitué par un terrain argilo-gréseux détritique contenant le minerai d'étain remanié : terrain d'aspect récent, encaissé entre des collines de grès schisteux anté-carbonifère et de calcaire sans doute ouralo-permien. Le seul gisement connu a donc les caractères d'une alluvion ancienne, cas relativement exceptionnel pour l'étain, bien que plus fréquent pour l'or, et l'on est fondé à admettre que son origine est assez voisine, peut-être sous la forme de filons dans les grès précarbonifères. Gascuel signale, en effet, un filon de quartz avec cassitérite, mispickel et pyrite, formant muraille près d'un des gîtes, qui, pour une cause quelconque, se sera trouvé échapper à l'érosion.

Le minerai, que les indigènes recueillent dans de petits puits de 10 m. au plus de profondeur, se présente sous la forme de blocs et grains roulés, contenant un mélange très complexe et impur de cassitérite avec de la limonite (oxydation de pyrites), de l'arsenic (provenant sans doute du mispickel), du bismuth, du molybdène, du plomb et du cuivre. Le mélange d'oxyde d'étain très fin et de limonite est tout à fait intime comme dans les minerais d'étain de Toscane et comme dans certains de ceux que nous avons trouvés dans la province de Malacca, ou que nous rencontrerons bientôt au Yunnan. Généralement, la cassitérite y est tout à fait invisible dans un minerai qui passe du rouge brun au noir suivant que l'oxyde de fer ou celui de manganèse y domine. Pour obtenir l'étain, les indigènes pilent le minerai trié, l'enrichissent à la battée et le fondent : ce qui leur donne un métal à au moins 10 ou 20 p. 100 d'impuretés, ou même un culot de fer stannifère utilisé comme balle pour les fusils à pierre, ou comme plomb pour les filets. On en produit 2 à 3 t. par an et il n'a pas semblé possible d'y organiser une exploitation moderne, au moins jusqu'au jour où le Mékong sera relié à la côte par un chemin de fer.

[1] LACROIX. *Gis. stan. de Hin-Boun (Laos)* [Bul. S. F. Min.]. — 1905. GASCUEL. *Gis. stan. au Laos français* (Ann. d. M., t. 81, p. 321 à 331). — *Asie*, p. 741. — Coll. Ec. d. M., 2055 (Thien-tuc).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

YUNNAN[1]

Le centre stannifère le plus important du Yunnan est celui de Ko-tiou, situé non loin de la frontière française, à l'Ouest de Mong-tzé et, sur lequel tant en raison de cette situation que de sa production annuelle, évaluée à plus de 4.500 t. d'étain, l'attention a été très vivement attirée. Malgré cela, l'hostilité de la population a rendu, jusqu'ici, l'étude technique de ces gisements à peu près impossible. Seul, un ingénieur français, Bélard, a vu autrefois les principales. Leclère, dont nous allons utiliser la description, n'a pu visiter que des mines secondaires, et Lantenois a dû renoncer même à l'accès de celles-ci. Nous verrons bientôt que, sur le territoire français, les gisements stannifères se prolongent beaucoup plus au Sud-Est, à Piaouac, où ils apparaissent très nettement liés aux granites.

Les gisements d'étain de *Ko-tiou* paraissent être des filons ou veines dispersés dans des calcaires et en relation d'origine possible avec des pegmatites à tourmaline d'âge postérieur au trias. Ces filons, ordinairement encaissés dans des terrains permo-triasiques, se présentent en profondeur sous la forme de cassitérite avec sulfures de fer et de cuivre abondants, parfois arsenicaux. Vers la surface, en même temps que le calcaire encaissant a été au contact transformé par altération en une argile rougeâtre, les sulfures se sont trouvés éliminés et il en est résulté un minerai d'un lavage facile qui a été spécialement recherché par les habitants.

Il paraît y avoir ici relation entre l'étain et le cuivre, comme au Cornwall, comme en Bolivie, etc. Les filons d'étain proprement dits contiennent des sulfures cuprifères, qui sembleraient, même suivant des indications recueillies par Lantenois, augmenter en profondeur. Et, d'autre part, les gisements de cuivre interçalés dans la porphyrite, dont il sera question plus loin, renferment souvent une proportion notable d'étain. On serait même tenté de croire qu'il y a relation avec d'autres sulfures métalliques divers, d'après les observations, malheureusement restreintes, de Leclère. En divers points, où se trouvent des minerais d'étain,

[1] L. De Launay. *Asie* (p. 752 et bibl., p. 748). — Voir encore : 1898. *La mission lyonnaise d'exploration commerciale en Chine* (1895-97). Lyon, 1898. A. Rey, 1 vol. in-4° : 1re partie. Récits de voyages; 2e partie, Rapports commerciaux. *Rapport sur les mines et la métallurgie*, par P. Duclos (Yunnan, Kouei-tcheou, Sé-tchouan), p. 283 à 315. — 1898. Duclos. *Minerais du Sud de la Chine* (Réun. S. Ind. Min., janv. 1898). — 1901. Leclère. *Etude géologique et minière des provinces chinoises voisines du Tonkin* (Ann. des Mines, 1901, avec bibliog.; publications antérieures du même auteur sur le même voyage, dans la Géographie (1900, t. 1, 267-88), les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (1900, t. 130, p. 184; et t. 131, p. 966, avec carte); Bul. Soc. Géog., 1901, 23 p. — Leclère. *Notes sur la législation des Mines en Chine* (Ann. des Mines, 1900, t. 18, p. 249). — 1904. Lantenois. *Questions minières se rattachant au choix du tracé du chemin de fer Lao-Kay, Mongtze, Yunnan-Sen*, 110 p. in-4°, avec 8 annexes. — 1907. Lantenois. *Résultats de la mission géologique et minière au Yunnan méridional* (1903-1904) (Ann. des Mines, mars-avril 1907, 210 p. et 5 pl., avec mémoires annexes de Counillon, Mansuy et Zeiller). — Lantenois, H. *Note sur la Géologie et les Mines de la région comprise entre Lao-Kay et Yunnan-Sen* (Ann. des Mines, 10e série, t. 11, p. 300-393 et 385-428, pl. 10 et 11).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

on trouve aussi des filons de cuivre et de plomb (*Ma-la-ken*), du plomb (*Long-téou-tchai*).

On a donc une venue stannifère relativement récente, dont il est toutefois difficile de préciser l'âge et de dire si elle est encore hercynienne, comme pourrait le faire croire un rapprochement bien vague avec l'étain des Détroits, ou si elle ne ferait pas partie des métallisations tertiaires, qui ont dû être ici très développées. De toutes façons, les conditions de gisement ont un certain air superficiel, qui est un peu analogue à celui que l'on observe pour les très petits gisements stannifères de la Toscane, associés de même avec des venues métallifères sulfurées diverses, formant une série d'auréoles concentriques à un massif granitique tertiaire dont elles semblent émanées : d'abord étain, cuivre et pyrite de fer ; puis plomb et zinc ; puis mercure et antimoine. Si l'on regarde en gros sur la carte la position des gîtes du Yunnan et des pays voisins, on trouve ainsi, dans une première zone occidentale plus voisine des massifs tibétains, le cuivre et l'étain, avec l'or, tandis que le mercure est surtout à l'Est de la province, à plus grande distance des roches ignées. Ce pays présente un autre rapprochement avec la Toscane : celui d'être formé par des compartiments fracturés et dénivelés les uns par rapport aux autres. Il serait dangereux d'insister sur un tel rapprochement, seulement indiqué en passant.

Les conditions, dans lesquelles Leclère a visité le groupe stannifère de Ko-tiou, ne lui ont pas permis de voir les mines qui, d'après lui, sont les principales, telles que celle de *Tsé-men-tong*, où travaillent 600 ouvriers, ou les gisements situés à l'Ouest et au Sud de Ko-tiou. Il a visité, à To-mou-ko (2.000 m. d'altitude), un affleurement stannifère filonien dans le calcaire triasique, composé d'argile rouge avec grains de cassitérite, et à Ma-la-ken (2.700 m. d'altitude), un filon analogue de 1,20 m., également dans le trias, dont l'affleurement était analogue et qui, à faible profondeur, donne de la phillipsite, avec des carbonates de cuivre associés à la cassitérite, au voisinage d'autres filons de pyrite cuivreuse et de galène.

TONKIN [1]

Le groupe stannifère du Tonkin est situé dans le cercle de *Caobang*, autour de la montagne du *Pia-ouac*, au Sud du poste de Nguyenbinh, non loin du Yunnan dont il prolonge les gisements.

Le Pia-ouac, qui s'élève à 2.000 m., est formé de granite traversant des calcaires et schistes, au moins en partie dévoniens. Ce granite est recoupé par des filons de quartz avec cassitérite et wolfram, d'où proviennent des éluvions et alluvions qui, sauf pour un filon attaqué par les Chinois, ont seules donné lieu à des exploitations.

Les principaux gisements, ceux de Binh-duong, Beau-Site, Ganymède,

[1] Voir Coll. Ecole des mines, nos 2464, 2465 et 2505, étain de Nguyen, Cho-na et Thien-tuc. — 1906. *Not. sur la carte géol. et les mines de l'Indo-Chine*, par le service des mines (avec carte). — 1909. G. Dupouy. *Contr. à l'ét. de la minér. de l'Indo-Chine. Minerais et minéraux du Tonkin* (thèse de doctorat, 164 p. et carte). — L. De Launay. Asie, p. 349 et 745, et bibl., p. 737.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

semblent le résultat d'une destruction presque sur place, ayant donné lieu à de gros blocs métallisés dans une sorte d'éboulis. A Beau-Site, on abat et enrichit sommairement un minerai très complexe, qui renferme presque autant d'acide tungstique que d'étain ; d'où la nécessité d'une préparation mécanique, dont on laisse le soin aux acheteurs européens.

Ailleurs, il y a de véritables cuvettes d'alluvions, généralement très irrégulières comme teneur. Celle de Tinh-tuc et celle de Bac-giai contiennent un peu d'or, en vertu de l'association que nous avons tant de fois signalée.

Le minerai de Tinh-tuc présente cette particularité de ne pas renfermer de wolfram. Les Chinois ont fait autrefois, sur ce point, des travaux importants, que l'on essaye de reprendre. Divers essais ont donné une teneur de 4 kg d'étain par mètre cube en place ; mais l'irrégularité fondamentale du gisement fait qu'il est difficile de présenter un chiffre moyen correspondant à quelque chose de réel.

C. — ÉTAIN D'AUSTRALIE

TASMANIE (Mount Bischoff, etc.) [1]

La région stannifère de la Tasmanie est située au Nord-Est de l'île près de Moorina (fig. 151). Elle comprend des champs d'alluvions considérables, qui ont surtout fait la base de l'exploitation jusqu'ici et des filons que l'on a commencé plus récemment à exploiter.

On a cru remarquer que les filons étaient principalement sur le flanc Sud de la chaîne (Anchor, Mount Bischoff, district de Blue Tier, etc.), et les alluvions sur le flanc Nord, dans le district de Derby (Briseis, New Brothers Home, etc.). Après une première phase d'activité vers 1883, la région avait beaucoup décru ; elle se relève aujourd'hui après une transformation des exploitations.

1° Filons de Mount Bischoff, Anchor, Heemskirk. — Au *Mount Bischoff*, on a été attiré, dès 1871, par des formations altérées considérables, éluvions presque sur place, très différentes à tous égards des alluvions proprement dites, que l'on a surtout exploitées à White Face, Slaughter Yard Face et Brown Face, mais qui, aujourd'hui, sont à peu près épuisées. Nous en dirons quelques mots après avoir insisté sur le système filonien dont elles proviennent très directement. Le Mount Bischoff est formé de schistes et quartzites paléozoïques, avec des grès et dolomies subordonnés, le tout traversé par une vingtaine de filons porphyriques très divergents, qui semblent des apophyses d'un granite voisin. Ces porphyres, aussi bien que les schistes encaissants, ont été recoupés par une venue stannifère qui semble le dernier terme de leur différenciation, et celle-ci,

[1] 1892. Groddeck. *Zur Kennt. der Zinnerzlag. des Mt. Bischoff in Tasm.* (Z. d. D. G., t. 36, p. 642). — 1892. Kayser. *On Mt Bischoff* (Austr. Ass. for the Advanc. of Sc.). — 1899. W. v. Fircks. *Die Zinnerzlag. des Mt. Bischoff* (Z. d. D. G. G., t. 51, p. 431). — 1908. J.-B. Lewis. *The Min. ind. for.* 1907, p. 881. — 1910. Bathurst (Min. Mag., sept. 8 p.). — 1910. J. D. Millen (Min. Journ., août, 6, 13 et 27).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

en même temps qu'elle produisait des filons proprement dits, a exercé sur eux à un haut degré la transformation précédemment signalée, qui a fait disparaître les feldspaths et développé le quartz secondaire, la topaze, la tourmaline, la cassitérite, avec fluorine, pyrite, mispickel et sidérose. La cassitérite s'y trouve souvent avec la topaze dans les salbandes, tandis que les zones riches en tourmaline semblent d'ordinaire pauvres en étain.

On y a remarqué en s'approfondissant un accroissement très sensible de la proportion de pyrite, peut-être parce que l'altération avait fait disparaître celle-ci dans les parties hautes.

Nous avons dit qu'il existe, en outre, de véritables filons d'étain. Ceux-ci (North Valley Lode, Mount Bischoff Lode, Queen Lode, etc.), contiennent quartz, cassitérite, wolfram, pyrite, mispickel, sidérose, fluorine, rarement topaze. Le Queen Lode tenait en moyenne 2 p. 100 d'étain sur 0,90 de large.

La mine du Mount Bischoff, relativement ancienne puisqu'elle date de 1890, est aujourd'hui descendue à 300 m. Le minerai y est en noyaux très irréguliers (patches), qui causent industriellement des surprises constantes.

A *Anchor*, les filons sont encaissés dans une granulite, souvent formée seulement de quartz et de feldspath, en relation fréquente avec des pegmatites [1].

Dans une autre partie de la Tasmanie, près de la côte Ouest, des travaux secondaires ont été faits au *Mont Heemskirk*, sur des filons de quartz et tourmaline traversant le granite à tourmaline [2].

A 8 km. Sud-Est de là se trouvent les gisements du *Mont Zeehan* [3], qui paraissent correspondre à un départ plus accentué, avec différenciation progressive tendant vers le type ordinaire des filons concrétionnés. On a d'abord, au contact du granite, des gites de contact type Banat, avec magnétite, chalcopyrite, blende et galène, et, dans le silurien adjacent, des filons du même groupe sulfuré, où la magnétite disparaît, mais où l'on voit progressivement apparaître la sidérite. Quelques-uns de ces filons, comme ceux d'Oonah, sont stannifères et leurs minerais tiennent jusqu'à 9 p. 100 d'étain avec un peu d'or, dans un remplissage complexe, où entrent beaucoup de pyrite, un peu de pyrite cuivreuse, parfois de la bismuthine, du wolfram, de la sidérite, de la galène, du cuivre gris.

2° Éluvions. — Les champs d'éluvions de *Mount Bischoff*, qui sont visiblement des décompositions presque sur place, s'adossent au flanc de la montagne, parfois jusqu'à son sommet, sur des pentes qui atteignent 45 degrés, avec des épaisseurs dépassant 20 m.

A Brown Face, le plus riche, qui est sur le flanc Est, on a eu, sur plusieurs centaines de mètres d'extension et 90 m. de haut, une poche remplie de débris de schistes tourmalinisés, de porphyre à topaze, d'oxyde de fer, etc., avec des zones stannifères à allure filonienne : le

[1] 1902. TWELVETREE. (Tr. Aust. Ass. for adv. of Sc.).

[2] 1902. WALLER. *Report on the tin ore deposits of Mount Heemskirk* (Tasmanie), 46 p.

[3] 1904. WALLER. *Rep. on the Zeehan Silver Lead mining field* (Tasmanie).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tout provenant évidemment d'une sorte de stockwerk, où des veines stannifères s'entrecroisaient et où les terrains encaissants, schistes et porphyre, avaient été imprégnés d'étain par eux.

Ailleurs l'éluvion de White Face, accolée à un porphyre quartzifère, contient de nombreux débris altérés de ce porphyre stannifère, avec un sable de quartz, topaze et cassitérite. A Slaughter Yard Face, on trouve beaucoup de monazite et de wolfram.

La principale compagnie ayant travaillé en ce point est la Mount Bis-

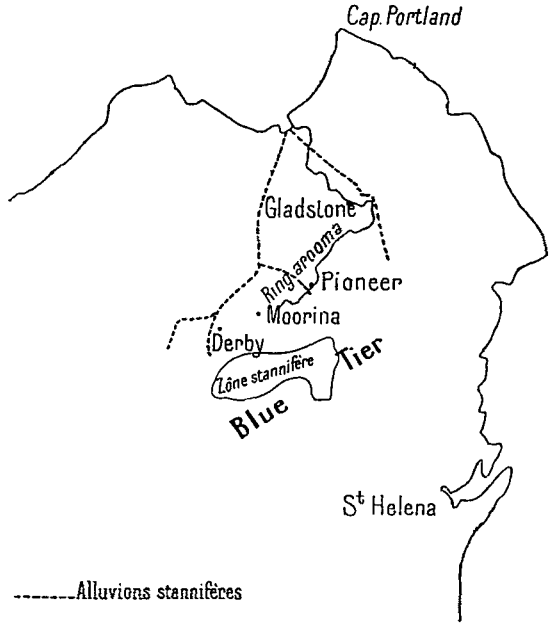


Fig. 151. — Carte de la zone stannifère de Tasmanie.

choff Tin Cy qui, à la fin de 1905, avait déjà produit 45.300 t. d'étain. La moyenne des minerais traités y était, en 1905 de 1,25 p. 100.

3° Alluvions. — Les principales alluvions sont celles de Brothers Home, sur lesquelles travaillent la Briseis et la New Brothers Home. La Briseis, qui possède toutes les forces hydrauliques de la région, est aujourd'hui le principal producteur de la Tasmanie (plus de 1 000 t. d'étain en 1907).

On a fait sur le Ringarooma, à Pioneer, Gladstone, etc. (fig. 151), des essais malheureux pour travailler à la drague les alluvions pauvres.

Un peu plus au Sud-Est, dans le district de Blue-Tier, on a autrefois, vers 1880, lavé des alluvions riches que la Compagnie de Mount Lyell, dont nous parlerons à propos du cuivre, a vainement explorées en 1907.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

QUEENSLAND[1]

Dans le Queensland, on cite surtout le district d'Herberton (Walsh et Tinaroo) au Nord, le plus important de la colonie, produisant à lui seul près des deux tiers de sa production totale, 4 500 000 fr. 1910, puis ceux de Kangaroo Hills et de Cooktown dans le Nord de la province, et ceux de Stanthorpe dans le Sud. A *Herberton*, les gisements d'étain, pour la plupart de forme filonienne, se trouvent le long du Main Dividing Range, où des granites recoupent en les métamorphisant des sédiments précarbonifères fortement plissés. Ces mêmes terrains sont recouverts en discordance par du dinantien surmonté de porphyre pétrosilicieux fluidal dans des conditions tectoniques qui rappellent notre Plateau Central.

La métallisation s'est produite dans la zone de contact du granite et des schistes, et comprend tout le groupe de minéraux habituels : wolfram et schéelite, molybdénite, mispickel, bismuth, bismuthine, chalcopyrite, blende, galène, sidérite, fluorine, topaze, tourmaline, beryl, monazite, avec parfois des passages très intéressants au groupe plombifère.

Dans ce district, près d'*Irvinebank*, la mine Vulkan exploite, jusqu'à 420 m., au milieu des schistes, des filons très irréguliers de quartz et chlorite (chlorite stone), poudrés de cassitérite et magnétite et renfermant par endroits des poches riches où l'on a atteint des teneurs de 8 p. 100.

Au *Mont Ormonde*, entre Irvinebank et Silver Valley, on a des bandes de zwitter feuilleté par endroit (laminated ores), atteignant 3 m. de puissance, et recoupant les quartzites, auprès du granite, qui lui-même renferme seulement des filons de wolfram sans étain.

Le *Lancelot Lode*, dans la vallée de Dry River, présente un autre type de filons riches en cuivre, associés avec des filons plombifères. On y a trouvé des poches remarquablement riches en cuivre, tenant jusqu'à 20 p. 100 de cuivre, et 0,1 p. 100 d'argent, avec très peu d'étain. Le bismuth y est assez abondant (1 p. 30 d'étain dans les concentrés). Sous le chapeau de fer habituel aux gisements pyriteux, on a eu une zone riche en étain sans développement de topaze, tourmaline ou fluorine et sans action notable sur la roche encaissante (schiste ou grauwacke). Vers 100 mètres de profondeur, le filon a pris un type régulièrement concrétionné, avec des zones de blende, galène et mispickel sur les salbandes, quartz, pyrite et cassitérite au centre.

Dans ce même district d'Herberton, à *Bakerville*, le gisement d'étain s'est localisé au contact d'un granite à biotite riche en microcline et de schistes quartziteux primaires, où se sont développés de la tourmaline, du grenat, du spinelle, de la pyrite, etc. La zone métallifère, qui peut avoir 10 à 20 m., est formée surtout de quartz à tourmaline tenant un peu de cassitérite, avec pyrite et mispickel subordonnés. La cassitérite y est, tantôt en grains fins très disséminés, tantôt en masses compactes. En 1907, la teneur moyenne des minerais extraits était de 0,6 p. 100.

[1] 1883. JACK. *Rep. on the Herberton Tin mines* (Brisbane). — 1904. CAMERON. *The Herberton Tin Field* (Brisbane). — 1905. STIRLING. *Mon. on the geol. and min. features of Silver Valley.* — 1909. BECK, t. 1, p. 301.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Enfin, dans le granite même, on a beaucoup de filons à zone d'imprégnation latérale comme le stockwerk de greisen à teneurs atteignant 8 et 10 p. 100 d'étain de *Hadleigh Castle mine* dans le Dry River.

Le tout a donné lieu à d'abondantes alluvions.

Alluvions de la Nouvelle Galles et du Queensland[1]. — Les alluvions stannifères de New-England, à la frontière du N. S.-Wales et du Queensland, ont été mises en exploitation depuis 1871. On y trouve des dépôts tertiaires protégés par les basaltes, des dépôts anciens de hauts plateaux et des dépôts de vallées actuelles. *Vegetable Creek* est un des points où on les a exploitées le plus activement. Ce district a donné, en 1895, 900 t., dont 286 provenaient de filons, 15 d'alluvions tertiaires, 500 d'alluvions anciennes. L'alluvion tertiaire, reposant sur un porphyre et recouverte par 24 m. de basalte, formait là un lit riche de 1,5 m. d'épaisseur, intercalé entre deux bancs plus pauvres de 2 à 3 m.

La zone stannifère se prolonge au Queensland à *Stanthorpe*.

D. — ÉTAIN D'AFRIQUE

On commence à connaître, en Afrique, quelques gisements stannifères : les uns n'ayant qu'un intérêt minéralogique, les autres susceptibles d'une exploitation qui s'organise. Ces gisements, qui font totalement défaut dans la zone algérienne et tunisienne à plissements tertiaires, prennent, au contraire, de l'importance, quand on atteint les terrains métamorphisés par le granite de la Nigeria ou du Swaziland.

Nigeria. — En allant du Nord au Sud, des gisements d'étain ont été récemment trouvés en Nigeria du Nord, dans l'Ouest de la province de Bautchi vers 1 200 m. d'altitude, sur le fleuve Gimpy, dans un terrain de granites et de diorites traversant des gneiss et schistes cristallins. La cassitérite se trouve en alluvions avec de la colombite et du zircon et l'on y rencontre aussi un peu d'étain natif[2]. On a eu des teneurs atteignant 15 kg. à la tonne, à 3 m. de la surface. En 1907, l'extraction en étain noir à 65 p. 100 de métal a été de 129 t. En 1910, on a exporté 500 t. de cassitérite. Les compagnies principales sont Bischi et Naraguta. On n'a pas encore reconnu les filons. Les alluvions de Naraguta, épaisses de 1,60 m. à 3 m., ont donné, en 1911, 516 t. de cassitérite à 70 p. 100 valant environ 3 500 fr. la tonne.

La difficulté pour ces gisements est actuellement la question du trans-

[1] Ulrich. *On some recent Tin ore discoveries in New-South-Wales* (Q. J. g. Soc. Lond., t. 29, p. 5). — Gregory. *On the Discovery of tin in Queensland* (Q. j. Soc., vol. 29, h. 1). — 1886. Herbert Cox. *Tin deposits of New South-Wales* (Journ. and proceedings of the royal Society of New South-Wales, t. 20, p. 93.) — 1887. C. W. Edgeworth David. *Geol. of the Vegetable Creek Tin mining Field* (Geol. Surv. of N. S.-Wales, p. 23).

[2] Cette particularité de l'étain natif se retrouve (d'après Beck, t. 2, p. 449) dans les alluvions des rivières Aberfoil et Sam au N. S.-Wales (avec de l'osmiure d'iridium) et dans les alluvions aurifères de l'Oural. — Voir *Rev. Par. de Banque et de Mines*, 31 décembre 1911, p. 836.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

port, qui coûte 650 fr. la tonne jusqu'à Liverpool. Il faut à grand'peine gagner Loko, sur la rivière Bénoué.

Congo français et Congo belge. — Quelques traces d'étain ont été signalées dans les *monts de Cristal* (Congo français).

Des roches stannifères existent, d'après Van Gèle, sur l'*Oubanghi* et, d'après le commandant Roget, sur l'*Ouellé Makua* (affluent de gauche de l'Oubanghi), où les indigènes fabriquent, paraît-il, des anneaux d'étain, qu'ils portent aux oreilles [1].

Le capitaine Julien [2] parle aussi de gîtes d'étain, exploités à *Massinga*, ou Massinda, à deux jours de marche au Nord du village Agapata, dans le bassin supérieur de la Banghi (affluent de l'Oubanghi). Ces gisements, situés dans une région d'archéen et de granite, présenteraient cette particularité d'être, comme dans le Cornwall, en Bolivie, au Yunnan, etc., associés avec du cuivre.

Plus au Sud, en se rapprochant de la zone cuprifère du *Katanga* [3], on atteint la chaîne granitique des Bia Range, au pied de laquelle se trouvent des alluvions stannifères contenant du quartz et de la tourmaline avec la cassitérite. Des premiers travaux ont été faits à Busanga entre les deux rivières confluentes de Lualaba et de Lufira [4].

Transvaal (Waterberg) [5]. — L'Afrique du Sud présente deux régions stannifères principales tout à fait distinctes : l'une au N.-W. du Transvaal (Waterberg ou Bushveldt) ; l'autre dans le Swaziland, à l'Est.

Le district du *Waterberg* (Groenfontein, Rooiberg) a exporté, dans le premier semestre de 1909, environ 1 200 tonnes de minerai pouvant tenir en moyenne 60 p. 100 d'étain.

Les principaux gisements du *Waterberg* sont situés à 35 km N.-W. de *Potgietersrust* dans la région montagneuse qui sépare la rivière Magalaquene de la rivière Sterk. Ces gisements, dont l'exploitation est en développement marqué, présentent des alluvions stannifères, avec des filons dont ces alluvions dérivent.

De ces veines stannifères de Potgietersrust, beaucoup, ayant l'allure ordinaire de quartz ou de pegmatites stannifères avec imprégnation latérale, accompagnent un changement brusque de structure du granite. On trouve, au contact, de la tourmaline et du mica lithinifère ; mais, en outre, Merensky y a décrit un développement anormal de calcite secondaire tenant beaucoup d'étain disséminé.

[1] Public. de l'État du Congo, n° 5. *Le district de l'Arouwimi et Ouellé.*

[2] Demars. *Le plateau central du Congo français* (Géographie, 15 août 1901).

[3] 1908. J. R. Farrell. *The Copper and Tin Deposits of Katanga* (Eng. a Min. J. t. 85, avril).

[4] Voir la carte du Katanga, fig. 333.

[5] 1904. Merensky. *Zinn im Transvaal* (Z. f. pr. G., p. 409-411). — 1905. Hall. *Geol. notes on the Bushveldt Tin Fields* (Tr. geol. Soc. S. Af., t. 8, p. 47). — 1907. Kynaston. (Transv. geol. Survey). — 1908. Johnson. *The Tin, molybdanum and Lead occurr. near Potgietersrust* (Tr. geol. Soc. S. Af. t. 10, p. 115-120). — 1908. Merensky. *The Rocks belonging to the area of the Bushveldt Granite complex in which tin may be expected...* (Tr. geol. Soc. S. Af. t. 11, p. 25-42). — 1908. Recknagel. *On some mineral Dep. in the Rooiberg District* (Tr. geol. Soc. S. Af., t. 11, p. 83-106). — Beck. t. 1, 303. — 1909. South Afric. min. journ., 30 janv. — 1910. Weston. *Tin mining in South Africa* (Eng. a. Min., 12 et 26 févr.; 12 mars).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

On signale, dans la même région, à *Zaaiplaats*, des gisements ayant une allure assez particulière : colonnes, chutes (shoots) ou tuyaux (pipes), irrégulièrement distribués dans le granite rouge. Cette mine de Zaaiplaats s'est organisée en 1908 pour broyer 100 t. par mois.

A *Groenfontein*, une lentille de pegmatite, intercalée dans le granite, a subi après coup une imprégnation stannifère. Cette mine de Groenfontein a produit, en 1908, 160 t. d'étain.

Dans le district de *Rooiberg* (60 km. W. de Warmbad), il y a, d'après Recknagel, outre de l'étain disséminé dans des pegmatites, de beaux filons, anciennement exploités par les indigènes, qui traversent des quartzites feldspathisés en les imprégnant de tourmaline et de minerais.

On y observe des pénétrations successives de cassitérite par la tourmaline, de tourmaline par les sulfures. L'association minéralogique est celle que nous avons déjà citée tant de fois. L'exploitation en a été commencée en 1908.

Près de là, mais un peu plus au Sud, se trouvent des filons curieux, présentant une association de l'étain et du cobalt dans une gangue de quartz riche en tourmaline, avec wolfram, schéelite et minerais de cuivre. C'est l'indication du rapprochement entre le cobalt et les roches acides qui a été précédemment signalé.

On peut encore citer *Enkeldoorn*, dans le Bushveldt, à 65 km. au Nord de Prétoria, où un beau massif de granite rouge avec veines d'aplite est traversé de filons stannifères à zone d'imprégnation latérale.

Un peu plus au N.-E. à *Vlakklaagte*, des filons analogues renferment de la chalcopyrite avec un peu de molybdénite.

Swaziland. — Dans le N.-E. du *Swaziland*, près de la frontière du Transvaal, on connaît, depuis longtemps, la présence de l'étain (concession E. King et ferme Oshaek[1]). La principale exploitation de ce district, paraît être la *Ryan Tin Works*, aux environs d'*Embabaan*, ou M'Babane. Bien qu'il y ait, en ce point, des filons d'étain primitifs, les essais d'exploitation ont porté uniquement sur des alluvions. La production de la Swaziland Cy a atteint, en 1909, 500 t. de minerai concentré.

D'après Molengraaff, on a, dans une région de schistes micacés, chloritiques, talqueux et amphiboliques, avec quelques quartzites à magnétite assimilés à la formation d'Hospital-Hill (Johannesburg), des intrusions fréquentes d'un granite, recoupé à son tour par des granulites nombreuses. Ces deux roches ont exercé un métamorphisme notable sur les terrains encaissants, où se sont développées, notamment, la staurotide et la tourmaline (Darkton, Forbes reef). La cassitérite se trouve, non dans du quartz, mais dans des pegmatites proprement dites, recoupant les schistes. Aux Ryan Tin Works (Embabaan), on a observé des filons, dont l'épaisseur était de 0,10 m. à 0,40 m. La cassitérite y est accompagnée de corindon. Les alluvions, produites par la destruction de ces roches, renferment une couche stannifère exploitable de 1 à 5 m. d'épaisseur, avec cassitérite, corindon, magnétite, et des minéraux à

[1] L. De Launay. *Rich. min. de l'Afrique*, p. 159. — 1909. W. R. Rumbold. *The South-African Tin-dep.* (Tr. am. Ins. M. E., t. 39, p. 783-789). — Voir, à ce propos : 1909. P.-A. Wagner. *Tin dep. in the vicinity of Capetown* (Tr. geol. Soc. S. Afr., t. 12, p. 102-115).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

métaux rares, tels que la monazite (phosphate de cerium, lanthane, thorium), l'aeschynite (titanoniobate des mêmes métaux [1]). On n'a pas affaire à un sable stannifère fin, mais à des fragments assez volumineux, montrant le voisinage de la roche primitive.

Dans le *Zoulouland,* on a décrit des gisements nouveaux, situés dans le district de Melmoth, qui se présentent en veines de pegmatite dans des schistes cristallins grenatifères renfermant des lentilles d'hématite.

E. — ÉTAIN DE L'AMÉRIQUE DU NORD [2]

La pauvreté en étain de l'Amérique du Nord est un fait remarquable, qui contraste d'une manière frappante avec l'abondance que présente ce métal le long de la chaîne hercynienne eur-asiatique et qui, ici, ne peut s'expliquer par l'ancienneté d'une exploitation ayant épuisé les gisements.

La cause en est peut-être dans le type tertiaire habituel à toutes les provinces métallogéniques de l'Ouest américain, bien que, dans des formations tertiaires analogues, l'Amérique du Sud doive nous présenter en Bolivie des gisements d'étain très importants.

Seule aux Etats-Unis, la Caroline du Sud produit 30 à 40 t. d'étain par an.

Caroline. — Dans le Sud des Appalaches [3], il existe une zone étroite, suivant laquelle les schistes cristallins et amphiboliques sont traversés par de nombreux filons de pegmatite, apophyses d'un granite voisin, où existent beaucoup de minéraux cristallisés, microcline, albite, lépidolithe, apatite, fluorine et cassitérite. La cassitérite forme là, comme à Graupen, un élément constituant de la pegmatite.

Dakota [4]. — Dans les Black Hills du *Dakota,* des recherches peu fructueuses ont été faites à diverses reprises depuis 1886 à Nigger Hill (Laurence county); Harney Peak (Pennington county), Warrens Gulch (Custer county). L'étain s'y trouve, dans des granulites, associé avec de gros cristaux de spodumène et avec un peu de columbite, tantalite et beryl. Des tunnels ont traversé trois zones concentriques: la première micacée; la seconde formée d'un greisen à cassitérite et spodumène; la troisième de quartz et de feldspath.

[1] Ces minéraux ont été étudiés dans le Mineralogical Magazine de 1899 et dans diverses notes de MOLENGRAAFF : *Ann, Rep. of the State Geolog. of the S. A. Rep. for the year* (Trans. of the geo. Soc. of. S. A., t. 4, p. 143, 1898) et *Géologie de la Républ. Sud-Africaine* (B. S. G. F. 1901, 4e sér., t. I, p. 13).

[2] 1867. *Le minerai d'étain dans l'Amérique du Nord* (Bull. Ann. d. M., 6e, t. 18, p. 572). — 1879. RAYMOND. *Sur l'étain du Missouri Sud* (Eng. a. Min. J., t. 28, p. 240). — 1893. KEMP. *Ore dep. of Un. St.*, p. 273. — 1901. WEED. *The El Paso tin deposits* (Texas). (Bul. U. S. geol. surv., n° 178). — *Mineral resources of the United States* et *Min. Industry.*

[3] 1906. GRATON. *Gold and Tin deposits of the Southern Appalachians* (Geol. Surv. Bul. 293). — Cf. 1843. JACKSON. *Filons d'étain de New Hampshire* (Rep. of Amer. geol., p. 346).

[4] 1909. SIMONNS, JESSE (Mining World, 15 mai).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Des alluvions aurifères et stannifères accompagnent le gisement du comté de Laurence.

Californie, Texas[1]. — Quelques gisements de l'Ouest, que nous nous contentons de mentionner, appartiennent sans doute à une venue de la fin du crétacé et du tertiaire.

En *Californie*, la mine de Temescal a été un moment exploitée vers 1890.

Au *Texas*, on a fait, en 1908, des recherches sur le flanc Est du mont Franklin, à 15 km. Nord de El Paso, dans des granites imprégnés de cassitérite.

Alaska[2]. — On a trouvé des gisements d'étain de quelque importance dans l'Alaska, à la presqu'île Seward, un peu au Sud du cercle polaire.

Ces gisements forment une auréole à des granites dans des terrains métamorphiques comprenant des schistes, calcaires, etc.

Par exemple au *Cape Mountain*, le granite pénètre dans un calcaire carbonifère qu'il métamorphise en y injectant des apophyses d'aplite. La cassitérite se trouve dans la zone de contact avec tourmaline.

A *Cassitérite Creek*, on travaille sur un filon de porphyre quartzifère, qui traverse le calcaire en l'imprégnant de fluorine et développant une métallisation de contact avec quartz, topaze, cassitérite, wolfram, molybdénite, pyrite, mispickel et, à l'état rare, blende et galène.

En face l'embouchure du *Tin Creek*, on a une brèche de topaze, wolfram, galène et un peu de fluorine, renfermant de la stannine argentifère.

F. — ÉTAIN TERTIAIRE

Pour des raisons tectoniques qui ont été déjà indiquées, les gisements d'étain tertiaires sont relativement rares, comme le sont les granites du même âge ayant déjà eu le temps d'être mis à jour. Dans l'un comme dans l'autre cas cependant, il a fallu, depuis longtemps, renoncer aux théories exclusives qui voulaient cantonner l'étain comme le granite dans un âge déterminé, et nous pourrons même citer tout à l'heure une très importante formation stannifère tertiaire en Bolivie. Nous avons déjà eu l'occasion de dire que les gisements tertiaires un peu importants, au lieu de se rattacher à des granites, se reliaient à des dacites ou rhyolites, représentant un magma acide analogue différemment cristallisé et que certaines remises en mouvement superficielles de l'époque actuelle pouvaient en être considérées comme le terme extrême.

ÉTAIN TERTIAIRE EUROPÉEN (Campiglia Marittima).

En Europe, ce type tertiaire est exceptionnellement représenté par le groupe très intéressant de Campiglia Marittima en Toscane.

[1] Coll. Ecole des Mines, 2100 et 2101.

[2] 1907. FAY. *Geol. and Min. of the Tin deposits of Cape Prince of Wales, Alaska* (Tr. Am. I. min. Ing.). — 1908. KNOPF. *The Seward Peninsula Tin deposits* (U. S. geol. Surv. Bull., t. 545, p. 251-268). — 1909. KNOPF. *Somes features of the Alaskan Tin deposits* (Econ. geol., avril, 10 p. et Bul. 359, U. S. geol. Surv. 67 p.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Campiglia Marittima (Toscane)[1]. — En Toscane, sur un centre métallurgique étrusque, bien connu historiquement et où les anciens ont dû exploiter de l'étain aussi bien que du fer, on a retrouvé, en 1871, des boules de cassitérite dans des filons de limonite traversant du lias inférieur sous forme de veines verticales. L'étain y a été reconnu à Cento Camerelle, puis à Cavina, et l'on a pu extraire, de 1876 à 1880, 184 t. de minerai d'étain. Les filons semblent former un réseau dans les calcaires et dans les schistes à posidonies. La limonite y résulte évidemment de pyrite ou mispickel, dont les calcaires encaissants ont facilité l'altération[2]. Il s'y associe un peu de cuivre. Suivant Lotti, ces gîtes seraient en rapport avec un granite à tourmaline post-liasique, situé à 2,5 km.

De même, dans l'*île d'Elbe*, des échantillons de cassitérite ont été trouvés en relation avec les granites tertiaires, à la périphérie desquels la tourmaline est, on le sait, très abondante.

ÉTAIN TERTIAIRE ASIATIQUE

La plus grande partie des gisements stannifères asiatiques se rattachent à la formation hercynienne, avec laquelle ils ont été décrits. Cependant quelques-uns d'entre eux, dans la région caucasique et arménienne et au Japon, sont en rapport avec des venues tertiaires.

Arménie. — Les gisements de cassitérite arméniens sont tout à fait insignifiants comme valeur industrielle, mais intéressants par les problèmes historiques qu'ils soulèvent.

Le massif du Kurrbaba-Dagh, d'où s'épanchent, en divers sens, les affluents principaux de l'Euphrate et de l'Araxes, contient un gisement de cuivre et d'étain près de Tillek[3]. L'étain a été signalé aussi entre le Sahend et l'Araxes.

Un gisement de molybdène, signalé près de *Migri*, sur l'Araxes, est à en rapprocher, étant donné l'origine commune si fréquente de l'étain et du molybdène, associés également à des granulites, souvent avec cuivre. A Migri, la molybdénite est unie à des pyrites de fer et de cuivre.

Le même groupement molybdène et cuivre existe à *Hedjenan*[4].

Province de Smyrne. — C'est également pour son intérêt historique possible que nous signalons une venue du groupe stanifère (peut-être plus

[1] Coll. Ecole des mines, 1629. — L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 9 et 77 et bibl.; notamment : 1903. Lotti. *I depositi dei minerali metalliferi*, p. 96 (Cf. Bull. del R. Comit. geol., 1900, n° 4, 1-11).

[2] Nous avons trouvé p. 53, 58 et 67, à Chongkat Pari (Malacca), To-mou-ko (Yunnan), Cassitérite Creek (Alaska), etc., des filons d'étain traversant des calcaires avec production de minerais analogues.

[3] Taylor (Journ. roy. geogr. Soc. Londres, t. 38, p. 339).

[4] Berthelot a rapproché le nom turc de l'étain (qualai), appliqué par certains auteurs arabes à la presqu'île de Malacca, de diverses dénominations grecques, telles que chalcon kalainon (cuivre de Chalais) et a été conduit à se demander si l'étain primitif ne viendrait pas de la Turquie d'Asie, du Sud du Caucase, ou de Méched en Khorassan, où des voyageurs russes en ont signalé des gisements. Strabon parle de mines d'étain dans la Drangiane.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ancienne) à l'autre extrémité de l'Asie Mineure. Dans la région S.-E. de Smyrne, il existe à *Darmanlar* quelques poches de mispickel et columbite dans des filons quartzeux. L'étain lui-même n'y a pas été mentionné.

Japon (Taniyama)[1]. — Le Japon produit, depuis longtemps, un peu d'étain à *Taniyama* (Kiou-siou). Il y a là dans le tuf tertiaire, une dizaine de filons, ayant 1 m. de largeur moyenne sur une longueur pouvant atteindre 1 500 à 1 600 m., dans lesquels une gangue quartzeuse renferme, avec de la cassitérite, plus ou moins de galène et de pyrite. La teneur du minerai préparé est de 10 p. 100 en étain. Nous ignorons si la présence de quelque massif granitique au voisinage rapproche ce gisement des conditions auxquelles nous sommes accoutumés. La carte au 1/1 000 000 n'en montre pas. Il est à remarquer cependant que le groupe quartzo-cuprifère, si abondamment représenté au Japon, est celui qui, par sa constitution, se rapproche le plus du groupe stannifère : le cuivre et l'étain pouvant, dans ces conditions, se trouver rapprochés, comme cela a lieu aussi bien en Bolivie qu'au Cornwall ou au Yunnan. Les filons de Taniyama doivent offrir de la continuité ; car leur exploitation a été à peu près ininterrompue depuis 1655, bien que la production actuelle, assez faible, soit tombée à 3 t. en 1907, après avoir atteint 36 t. en 1894.

ÉTAIN TERTIAIRE DE L'AMÉRIQUE DU NORD

États-Unis et Mexique. — Il faut, sans doute, rapporter au tertiaire les gisements stannifères de *Californie* et du *Texas* que nous avons mentionnés précédemment. Tel est certainement le cas pour le *Mexique* où, d'après Aguilera[2], les filons d'étain d'Aguas Calientes, Durango, San Luis Potosi, Coahuila (près de Rio Grande), seraient même en relation avec des rhyolites et tufs de rhyolites. Ces filons contiennent de la topaze, du wolfram, un peu de bismuth, mais pas de tourmaline.

Le gisement de *Tepezala*, dans l'état d'Aguas Calientes, offre des alluvions stannifères assez particulières où, à côté de fragments roulés, on a des blocs de cassitérite à structure concentrique et concrétionnée avec une croûte ferrugineuse, qui semblent accuser la remise en mouvement de l'étain, déjà signalée au Cornwall.

Dans l'état de *Durango*, la cassitérite est en veines dans un trachyte[3].

ÉTAIN TERTIAIRE DE L'AMÉRIQUE DU SUD. — BOLIVIE

Répartition des mines boliviennes[4]. — La région bolivienne est, dans le monde, la seule actuellement connue, où l'étain tertiaire ait pris un grand développement.

[1] Voir Coll. Ecole des Mines, 1695, étain de Minasaka.

[2] 1901. Aguilera. *Distrib. geogr. y geol. de los Criaderos minera de la Rep. Mexicana* (Mexico), p. 33.

[3] 1895. Ingalls. *The Tin dep. of Durango* (Tr. Am. Inst. Florida Meeting. 18 p.).

[4] Coll. Ecole des mines, 1629, 1807, 1808. — 1897. Stelzner. *Die Silber Zinnerzlagerstätten Bolivias* (Z. d. D. g. G., p. 51-142). — 1901. Malcolm Roberts. *Cerro de Chorolque* (Inst. of Min. a. Met.). — 1901. Frochot. *L'étain en Bolivie* (Ann. d. M., 10e,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les mines de Bolivie portent, soit sur des alluvions, soit sur les filons tertiaires d'où ces alluvions dérivent.

Nous aurons à signaler en Bolivie et au Chili deux zones aurifères : l'une seulement aurifère dans la chaîne d'Ollampa-Illimani ; l'autre complexe, avec encore un peu d'or, sur le flanc Ouest de la cordillière de la côte. La région cupro-stannifère se trouve plus à l'Est, dans une zone de 1 500 km. de long et 350 km. de large, entre la Paz au Nord et Tupiza au Sud. Elle est entièrement sur le flanc Est du plateau andin, tandis que le flanc Ouest, aussi bien au Pérou qu'au Chili, n'a jamais fourni d'étain [1].

Son altitude est très élevée. La chaîne des Andes, dans le département péruvien de Puno, se partage en deux rameaux, dont l'un (Cordillera real) passe au Nord du lac Titicaca et se continue vers la Paz et Oruro. C'est la chaîne stannifère. L'autre, au contraire (Cordillera occidental), se dirige à l'Ouest du lac Titicaca. Et, dans l'intervalle, s'étend le haut plateau bolivien, d'une altitude moyenne de 3 680 m.

La chaîne stannifère est d'abord très élevée avec le Sorata (6 486 m.), l'Illimani (6 460). Elle s'abaisse un peu vers le Sud, avec le Potosi (4 688), le Chorolque (5 624), le Tasna (4 760).

On y trouve les mines d'Huayna-Potosi, Milluni, Araca, Choquetanga, Quimza-Cruz, Santa Vela Cruz, Colquiri, Ocavi, Oruro, Morococala, Huanuni, Uncia Potosi, Chorolque, avec deux groupes particulièrement importants : celui de la Paz, Potosi, Oruro et celui de Chorolque.

Géologie générale. — Géologiquement, cette chaîne comprend, comme partie ancienne, des terrains siluriens et dévoniens, avec du granite, que les filons d'étain peuvent recouper, de la granulite, de la pegmatite, de la microgranulite, du porphyre pétrosiliceux (rhyolite).

L'étain est constamment associé avec un groupe de roches acides tertiaires, dont la structure peut, d'après des observations récentes, varier suivant les régions, bien qu'on ait parfois un peu trop généralisé la relation avec les rhyolites, constatée dans le district d'Oruro. En partant du Nord, les massifs d'Illampa (Sorata) et de Huayna-Potosi (Kakaaka) sont formés de granite avec dykes de pegmatite à muscovite contenant de gros cristaux de cassitérite. Ces pegmatites renferment parfois, sur le versant Est, vers le bassin de l'Amazone, des cristaux de muscovite assez grands pour être exploités. Dans l'Illimani, on passe à des roches microgrenues. De même, dans la Santa Vela Cruz, il existe une microgranulite à pyroxène contenant des inclusions de cassitérite. A Ocavi, on retrouve la même microgranulite avec une aplite décomposée. Dans la région d'Oruro, les microgranulites passent à des rhyolites : c'est-à-dire, dans le cas présent, à des roches contenant des

t. 19, p. 186-222). — 1907. Steinmann. *Ueber die Zinnerzlagerstätten Bolivias* (Z. d. D. g. G., t. 49). — 1908. Georg Hohagen. (The mineral Industry for 1907, p. 876). — 1908. De Romana. *Yacimentos de estano de Bolivia* (Bul. del Cuerpo de Ingen. de minas del Peru, n° 57,99 p. — 1909. Mining journal du 27 mars, du 10 juillet. —1909. Rumbold. *The origin of the Bolivian Tin deposits* (Econ. geol., juin, 43 p.). — 1911. Armas. *Etude sur l'étain et l'or de Bolivie.* Ann. d. M. 10e sér., t. 20, p. 149 à 230. — Voir la production plus haut, p, 6.

[1] Voir la carte générale de l'Amérique du Sud, fig. 502 et la carte plus spéciale de la Bolivie, fig. 467.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

phéno-cristaux de quartz, de feldspath et de mica blanc dans une pâte pétro-siliceuse et dont la parenté avec les granites à mica blanc est donc manifeste : la différence de structure tenant aux conditions différentes de cristallisation. Cette parenté est accentuée par le développement abondant de la tourmaline, qui se substitue souvent au feldspath et constitue de véritables tourmalinites au voisinage. En même temps, la tourmaline a pénétré dans les quartzites voisins, montrant l'intensité des minéralisateurs.

La même relation avec des rhyolites ou dacites existe dans le groupe de Potosi, autrefois si fameux pour sa teneur en argent, aujourd'hui exploité pour étain. On trouve là l'étain dans une métallisation complexe cupro-argentifère.

Quand on examine ces divers gisements, on y trouve, dans un premier groupe situé au Nord, des traits communs avec les gisements paléozoïques étudiés précédemment. Quand on arrive vers Colquiri, Oruro, Chorolque, on voit se développer des traits particuliers, qui semblent accuser un départ plus accentué vers la superficie, correspondant à une association avec des roches plus voisines de leur épanchement, telles que les rhyolites.

Groupe du Nord. — En partant du Nord, à *Huayna Potosi* près la Paz, le filon principal forme une lentille qui atteint 8 m. de puissance au milieu des schistes et quartzites, particulièrement métamorphisés au contact. Il est composé de quartz, cassitérite, pyrite et minerais de bismuth abondants (sulfure ou bismuth natif) disposés par lentilles interstratifiées et éparpillées dans les schistes. On a exploité des minerais à 3 p. 100 d'étain et 0,50 p. 100 de bismuth, qui se sont coincés en profondeur.

Près de là, à *Milluni*, un groupe de onze filons recoupe à angle droit des terrains du silurien supérieur et du dévonien inférieur au voisinage de granulites Les filons comprennent : quartz, pyrite et cassitérite, parfois de la fluorine. Un phénomène de remise en mouvement curieux a quelquefois laissé, dans les parties hautes du filon, des cavités tubulaires à stalactites d'oxyde de fer, au-dessous desquelles, 20 à 50 m. plus bas, s'est produit un enrichissement mécanique en étain pouvant donner une matière argileuse à 60 p. 100 de bioxyde d'étain. Ce type de minerai secondaire, dit « llampu », se retrouve aussi à Colquiri, Ocavi, etc.

A *San Salvador*, le filon suit une intrusion de granulite fine (Panizo, ou criadero d'estano) entre des quartzites et des schistes.

A *Araca*, on a des filons irréguliers formant stockwerk, avec beaux minerais cristallisés dans des schistes métamorphiques. Au voisinage, il existe des quartzites imprégnés par l'étain, qui s'y est parfois dispersé suivant des fissures larges comme une lame de couteau.

A *Choquetanga*, les filons suivent encore des granulites.

A *Quimza Cruz*, région qui a un peu attiré l'attention dans ces dernières années, l'étain est dans les schistes et quartzites redressés, avec massifs de granite.

A *Santa Vela Cruz*, où l'on a fait des travaux de développement étendus, on a un type un peu différent : un filon-brèche de 3 à 4 m., où des

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

débris de quartzites et grès ont été cimentés par un remplissage de quartz, pyrite et cassitérite, ultérieurement redisloqué.

A *Colquiri*, l'étain s'associe à des dykes ramifiés d'une sorte d'aplite au milieu de schistes et quartzites. Il est accompagné de fluorine et d'apatite. Les Espagnols y ont exploité autrefois l'argent. C'est donc un type de minéralisation complexe, comme l'accuse une coupe du filon où l'on a trouvé, en partant du toit : aplite kaolinisée ; zone stannifère ; blende ; schistes ; zone stannifère à fluorine ; galène et blende ; 2 m. de schistes ; 16 m. de pyrites argentifères ; schistes ; pyrite et cassitérite ; blende, d'abord avec cassitérite, puis seule, puis avec pyrite, puis encore un peu stannifère ; nouveaux minerais riches d'étain. Ailleurs, cette même mine a offert des veines d'aplite stannifère ramifiées en stockwerk à partir d'un tronc central.

La minéralisation d'*Ocavi* est encore très analogue avec galène, mispickel, blende, etc.

Groupe d'Oruro et Chorolque. — Dans le groupe d'*Oruro*, on peut remarquer que la cassitérite s'associe avec la rhyolite, comme ailleurs avec le granite à mica blanc. On voit des échantillons de rhyolite, dans lesquels s'est opérée la substitution de la cassitérite au mica ; la relation est la même avec des roches à muscovite et à quartz de première consolidation riches en tourmaline. On peut également noter la présence des satellites ordinaires de la cassitérite : stannine rare, wolfram, mispickel, bismuth abondant (Tasna, Chorolque), tourmaline (Chorolque), fluorine (Colquiri), oxydes de titane microscopiques (Charabuco), etc. Comme caractère particulier, il faut aussitôt signaler le rapprochement, fréquent ici, entre l'étain et les minéraux sulfurés : non seulement le cuivre que nous avons rencontré plus d'une fois, mais aussi le plomb, le zinc, le germanium, parfois l'antimoine. Il arrive, d'après Stelzner, de trouver (mine Itos d'Oruro) des microlithes de cassitérite dans la galène. Beaucoup des filons, actuellement exploités pour étain, ont été autrefois des mines d'argent. Tel est le cas pour Charabuco, le gisement le plus septentrional de Bolivie. Ailleurs, dans un même massif de rhyolite, comme à Uncia, on a : ici des filons de cassitérite pure ; ailleurs des filons d'étain pyriteux ; ailleurs encore des filons d'étain cupro-argentifères. Des échantillons de ce gîte présentent de la cassitérite associée avec du cuivre natif.

La richesse en argent, sur les affleurements stannifères boliviens, a été d'autant plus forte parfois que les phénomènes d'altération et de concentration secondaire ont joué ici un très grand rôle. Ces concentrations secondaires ont eu un effet particulièrement manifeste pour l'étain, dont la teneur diminue toujours en profondeur, tandis que dans, les parties hautes, le chapeau de fer en contenait une proportion anormale. Bien qu'on ait pu quelquefois descendre à 200 et 300 m. (Huanuni), cette diminution si nette de l'étain en profondeur est à retenir et à opposer avec l'observation inverse qui a été faite plus haut à Dolcoath[1].

Il en résulte qu'on a, aux affleurements, des minerais purs en cassitérite donnant des « pacos » d'étain avec oxyde de fer, argile et parfois miné-

[1] Voir page 24.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

raux d'argent, sans pyrite, tandis que, plus bas, on trouve les pyrites, chalcopyrites, bismuthines, etc.

Ces gisements assez nombreux, du groupe d'Oruro-Chorolque, présentent des types variés.

A *Oruro*, les filons sont exclusivement dans les rhyolites ou dans les quartzites. Il est facile de voir, quand un terrain schisteux se présente sur leur trajet, que la fracture cesse d'être nette et que la métallisation tend à s'éparpiller en filons-couches.

Les filons proprement dits sont, en général, plus purs quand ils sont minces, plus chargés de sulfures étrangers quand ils sont épais. Ces filons épais se composent, ordinairement, d'un système de veinules constituant, en réalité, une sorte de stockwerk. Parfois la cassitérite est concrétionnée et parfois même ces concrétions prennent une allure sphérolithique.

Au *Cerro de Potosi*, il existe un filon atteignant 10 m. avec 5 p. 100 d'étain, qu'on a pu suivre jusqu'à 600 m. de profondeur.

Dans cette province de Potosi, nous aurons plus tard à décrire, à propos de l'argent, les filons d'*Huanchaca* (Pulacayo), etc., qui sont surtout composés de cuivre gris argentifère avec un peu de blende et très peu de galène, mais où l'on trouve aussi de l'étain et du bismuth, qui montrent l'unité probable de formation métallogénique avec les gîtes précédents.

A *Tasna* (4 760 m., 40 km. de Chorolque), on est dans des schistes argileux traversés et silicifiés par des dacites. Des filons, qui ici ne contiennent pas sensiblement d'étain, mais du bismuth, ont jusqu'à 1 m. de large. Ils accompagnent, des deux parts, un filon de dacite, large de 6 à 8 m. On y trouve du quartz avec des sulfures de cuivre et de fer, de la bismuthine, du bismuth, un peu d'or natif, du wolfram, de la sidérose.

Le *Cerro de Chorolque* (5 624 m.) présente des mines d'étain presque jusqu'à son sommet.

Il est formé : à l'Est de schistes, à l'Ouest de rhyolites, avec brèche stannifère au contact. Le principal filon, dont on ne connaît encore que la partie haute, est large de 0,90 m. et contient parfois de la cassitérite sur près de la moitié de sa largeur, avec mispickel, bismuthine, bismuth, blende, pyrite, cuivre gris, galène et, comme gangue, du quartz, de la barytine, de la sidérose, de la tourmaline exceptionnelle. Des éboulis, plus ou moins remaniés par les eaux, contiennent de la cassitérite, du wolfram et des masses de bismuth natif à aspect poli.

Industrie. — Les ouvriers, en Bolivie, coûtent, suivant l'altitude, de 4 à 8 francs par jour. Les minerais tiennent moyennement 3 p. 100 d'étain.

Les mines font généralement la préparation pour obtenir un concentré, ou *barilla*, à 60 p. 100. A titre d'exemple, un atelier de Potosi, passant par mois 900 t. de minerai à 3 p. 100, produit 30 à 45 t. de barilla coûtant environ 250 fr. la tonne. On fond ensuite dans de petits water-jackets, dont la construction revient environ à 60.000 francs. Les frais de fusion sont de 300 fr. par tonne de minerai passé[1].

[1] On trouvera le détail du prix de revient dans ARMAS, *loc cit.*, p. 210.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les transports sont difficiles, la seule ligne de chemin de fer continue étant celle qui descend d'Oruro à Antofagasfa par Huanchaca et la région des nitrates (924 km. en 3 jours). En sens inverse, on peut descendre de la Paz vers le Nord par Guagui (96 km.), le lac Titicaca et Puno jusqu'au port péruvien de Mollendo. Ailleurs, les transports doivent se faire à dos de lamas, à raison de 30 à 50 kg. par charge. Le prix de Potosi à Antofagasta est de 160 fr. par tonne.

G. — ÉLUVIONS ET ALLUVIONS STANNIFÈRES [1]

Ce genre de gisements a joué, jusqu'ici, un rôle tout à fait prédominant dans l'histoire de l'industrie stannifère. Pendant des centaines et des milliers d'années, on s'est borné à extraire l'étain de ses dépôts remaniés, dans les mêmes conditions où l'on en extrayait l'or. Mais, ces dépôts de surface aisément exploitables étant, par leur constitution même, destinés à s'épuiser très vite, on a eu, dans tous les temps, une tendance à faire venir l'étain de loin, des pays neufs, où la civilisation commençait à pénétrer, comme on en faisait venir l'or. Les Romains tiraient déjà l'étain du Cornwall ou de la Saxe, comme nous le faisons de Malacca. L'épuisement des alluvions stannifères européennes est, sauf quelques glanages à faire, depuis longtemps accompli, et nous assistons aujourd'hui à l'épuisement rapide des alluvions de la région de Malacca, où le champ de Bangka s'épuise. Les alluvions de la Tasmanie, du Queensland, etc., ont eu une fortune analogue.

Géologiquement, les gisements remaniés d'étain ayant été décrits avec les gisements primitifs dont ils dérivent, nous nous bornerons ici à quelques remarques générales, avec un rappel sommaire des observations qui les appuient.

Tout d'abord on trouve l'étain presque en place au flanc ou au pied des montagnes granitiques, où se trouvent ses filons et dont la kaolinisation l'a mis en liberté. Ce type d'*éluvions* a été exploité très en grand, dans l'Ouest de l'Erzgebirge, autour du granite de l'Eibenstock, au Cornwall et, récemment, au Mount Bischoff en Tasmanie.

Il s'est fait, en outre, un *alluvionnement* proprement dit, qui a dû commencer dès la mise au jour des filons : par exemple, le long de la chaîne hercynienne, dès le permien ou le trias. Mais les alluvions stannifères antérieures au tertiaire ont été partout détruites et remaniées par des actions ultérieures et c'est même assez exceptionnellement que des alluvions tertiaires se sont trouvées conservées par une coulée de basalte superposée (Abertham dans l'Erzgebirge, Vegetable Creek en N. S. Wales, etc.).

Les conditions sont alors les mêmes que celles des alluvions aurifères miocènes ou pliocènes préservées dans les mêmes conditions.

Ces gisements, à leur tour, ont, comme les gisements primitifs, été remaniés à diverses reprises par les cours d'eau, avec un transport méca-

[1] La question des gisements détritiques métallifères a été traitée dans son ensemble au tome 1, ch. XI, p. 208.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nique qui ne s'étend guère à plus de 1 ou 2 km. du point de départ. Dans ces conditions se sont formés des sables stannifères à grain fin, dont la teneur n'est ordinairement pas bien forte (1/2 à 2 p. 100 d'étain dans les gisements riches), mais dont l'exploitation peut offrir une certaine régularité.

Toutes ces alluvions stannifères offrent, comme celles où l'on exploite d'autres substances lourdes, l'or, le platine, la magnétite, etc., une concentration habituelle sur le bedrock, dont nous avons essayé de donner l'explication [1]. Les minerais lourds et durs, qui accompagnaient l'étain dans ses gisements, s'y sont naturellement concentrés avec lui, de telle sorte qu'on y rencontre habituellement des grains de quartz, des restes de granite, du wolfram, de la pyrite, de la tourmaline, etc.

Nous renvoyons, pour les détails, aux descriptions données plus haut de la Malaisie, de l'Australie, de la Saxe, etc.

Enfin, il y a lieu de signaler, pour l'étain comme pour l'or, des possibilités de remise en mouvement et de concentration par voie de dissolution, auxquelles on ne pense pas d'abord [2] et dont les divers cas signalés doivent être soigneusement discutés avant d'être admis.

[1] Voir plus haut, t. I, p. 216.

[2] Voir p. 12. La cassitérite est soluble dans un certain nombre de cas, où l'oxyde stannique ne l'est pas : en particulier dans l'acide chlorhydrique d'après Arnold.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXVIII

NIOBIUM. TANTALE. GERMANIUM. URANIUM. RADIUM

NIOBIUM — TANTALE

Nb = 94. — **Ta = 181.**

Usages[1]. — Le tantale est, comme le thorium, le zirconium, le cérium, ou même le molybdène, le vanadium, etc., de ces corps qui, il y a quelques années, avaient seulement des applications scientifiques et qu'aujourd'hui l'industrie recherche activement.

La grande application du tantale est la fabrication de filaments pour les lampes électriques à incandescence : usage où il concurrence le carbone et le tungstène. Il donne une lumière plus vive avec moindre consommation d'électricité et il a l'avantage de supporter sans se détruire le passage momentané d'un courant plus fort. Un kilogramme de métal peut fournir les filaments nécessaires pour environ 45 000 lampes de 25 bougies, à raison de 650 millimètres de long et 0,005 mm. de diamètre.

Le tantale trouve une application, plus curieuse que pratique, dans le redressement des courants alternatifs. Deux électrodes de tantale, plongeant dans l'acide sulfurique étendu, s'opposent au passage du courant lorsqu'elles sont intercalées dans un circuit électrique où la tension ne dépasse pas 120 volts. Mais, dans ces conditions, un système d'électrodes Platine-Tantale laisse passer une des deux demi-périodes du courant alternatif : c'est le principe des soupapes électrolytiques.

Jusqu'ici, le niobium n'a pas encore d'usage.

Pour être marchand, il faut qu'un minerai de tantale renferme au moins 60 p. 100 d'acide tantalique, pas plus de 3 p. 100 d'acide niobique et soit exempt de chrome. Dans ces conditions, il vaut 5,50 fr. le kilogramme (Suivant Nicolardot, un minerai à 22 p. 100 vaudrait 100 francs par unité d'acide tantalique). La demande, et par conséquent le prix, sont, d'ailleurs, très irréguliers.

Minerais et gisements. — Le niobium et le tantale, que Moissan a classés comme éléments pentavalents avec les métalloïdes à la fin du

[1] Nicolardot. *L'industrie des métaux secondaires et des terres rares.* Encyclopédie Doin. — 1908. Pierre Breuil. *Le Tantale* (Génie civil, 7 et 14 nov.). — 1908. Hermann Zipp. (Chemiker Zeitung, 22 fév.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

groupe du phosphore, se rencontrent, en raison de leurs propriétés réductrices énergiques, presque toujours ensemble à l'état de niobates et tantalates de métaux divers, avec association de zirconium, de terres rares, d'étain, de titane et de tungstène. C'est pourquoi nous les rapprochons du groupe métallogénique stannifère, spécialement du zirconium. Ce sont des éléments de la scorie silicatée, qui accompagnent généralement des roches acides alcalines, et dont les sels ont souvent cristallisé dans les granulites ou les pegmatites. On peut remarquer que l'application du tantale à l'incandescence le rapproche également du zirconium et des terres rares, mais sans le différencier du carbone. En principe, la proportion du niobium semble notablement supérieure à celle du tantale.

Comme minerais principaux, citons : la *niobite* ou *columbite* (niobate ferreux, dans lequel le manganèse peut remplacer le fer et le tantale le niobium); la *samarskite* (niobate de terres rares, souvent riche en uranium); l'*euxénite* et l'*eschinite* (niobotantalates d'yttria avec germanium); la *wöhlérite* et les *pyrochlores*, niobates calciques, remarquables par l'absence anormale du tantale, etc. La *tantalite*, qui est pour le tantale l'équivalent de la niobite pour le niobium, renferme 84 p. 100 d'oxyde tantalique ; c'est le minerai principal du tantale.

La plupart des gisements de monazite fournissent, en même temps, des minéraux de niobium; on en trouve également dans certains gisements d'étain, tungstène et urane.

La niobite a été trouvée d'abord en beaux échantillons au Groënland, puis au Brésil. D'une façon générale, le Brésil, la Caroline du Nord, les monts Ilmen, la Norvège, aux points déjà signalés pour le zircon et la monazite, renferment plus ou moins de tantale et de niobium.

Nous citerons: en Australie orientale, le district de Greenbusches, Bunbury et Wodgina (Chingamong) comme produisant du tantale[1]; aux Etats-Unis, le Connecticut (Branchville) et le South Dakota (mine Etta); dans les Etats Malais, la Sempang Tin Mining, qui exploite à Panhore.

D'autre part, on peut remarquer que beaucoup de gisements d'étain et de tungstène (à commencer par ceux du Plateau Central) renferment un peu de tantale et qu'il pourra, dans certains cas, être possible de l'en extraire.

GERMANIUM

Ge = 72,5

Le germanium semble accompagner souvent le niobium et le tantale. On le trouve, d'autre part, dans toute une série de blendes. A Freiberg, on peut en extraire, par an, environ 30 kg. provenant de 325 kg. d'argyrodite (sulfo-germanate basique d'argent), qui forme de minces pellicules sur certains minerais d'argent de Freiberg.

En Bolivie, on retrouve ce métal en abondance relative à Huanchaca et la Paz, constituant, avec l'étain, le plomb ou l'argent, des composés où la proportion de germanium arrive à 1,82 p. 100.

Ce corps n'a encore aucun emploi.

[1] Edw. Simpson. Min. Journ., 28 nov. 1908.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

URANIUM[1]

U = 238,5

Historique. — L'oxyde d'uranium a été découvert, en 1789, par le chimiste allemand Klaproth, dans une analyse de pechblende. Mais c'est en 1840 seulement que Péligot parvint à préparer l'uranium métallique au moyen d'un chlorure anhydre chauffé avec du potassium.

Depuis quelques années, ce métal rare a pris un intérêt tout particulier dans les travaux chimiques par la découverte du radium qui lui est toujours associé et qui paraît en dériver par une véritable transmutation.

Usages[2]. — Les principaux usages de l'urane sont la préparation de matières colorantes.

L'azotate d'uranium est le sel d'urane qu'on obtient le plus facilement à l'état pur et c'est par son intermédiaire qu'on extrait l'uranium de ses minerais. Il est d'une belle couleur jaune. Divers autres sels de sesquioxyde donnent aussi des jaunes superbes. Les uranates de sodium et de potassium, les oxydes divers sont très employés pour les verres colorés et pour la peinture sur porcelaine (jaune clair, jaune orange, jaune citron). Le sesquioxyde donne au verre des nuances d'or et des teintes verdâtres très fines; le protoxyde sert à colorer en noir certaines porcelaines de grand prix.

Son action radioactive, due surtout à l'association du radium, le fait employer dans les laboratoires.

Si l'uranium n'avait pas un prix aussi élevé, il serait encore susceptible d'autres applications. Sa grande résistance électrique le ferait utiliser en électricité. On pourrait enfin en faire, avec le platine et le cuivre, des alliages ayant l'aspect de l'or et capables de résister aux acides.

En alliage avec l'acier, il ne communique pas de propriété spéciale et qui ne puisse être réalisée avec un autre métal moins coûteux.

Statistique et commerce. — Bien qu'il existe un assez grand nombre de gisements d'uranium signalés plus loin, la production industrielle de ce métal a été, jusqu'en 1908, presque monopolisée par la manufacture de Joachimsthal en Bohême. La production mondiale, qui était, vers 1880, d'environ 5 t., peut monter aujourd'hui à une douzaine. Les prix commerciaux sont (1911) les suivants : oxyde du commerce, 45 fr. le kg.; nitrate d'urane, 38 fr.; acétate d'uranyle, 55 fr. Ces prix ont sensiblement baissé depuis quelques années. En 1880, l'oxyde d'uranium noir valait 80 fr. le kg. et les uranates de soude jaune ou orangé environ 60 fr.

Cependant l'uranium vaut encore 1 000 à 1 500 fr. le kg.

[1] L'uranium est le métal dont le poids atomique est le plus élevé.

[2] Patera. *Sur la préparation du jaune d'urane* (Journal für prakt. Chem., t. 111, p. 397). — Peligot. *Sur la préparation de l'uranium* (C. R., t. 57, p. 73; Ann. de Ch. et Phys., 4e, t. 17, p. 369). — Wöhler. *Extraction de l'uranium de la pechblende* (Traité pratique d'analyse chimique). — Wysocki. *Fabrication des jaunes d'urane à Joachimsthal en Bohême* (Dinglers polyt. Journal, t. 176, p. 448; Bull. de la Soc. chim., t. 6, p. 494). — 1880. Lallemand. *L'urane et le vanadium à Joachimsthal* (Ann. d. M., 7e, t. 7, p. 326). — 1884. Ditte. *L'uranium et ses composés.* (Avec bibl. chimique.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Minerais. — Contrairement au groupe des métaux, fer, cuivre, plomb, zinc, etc., qui comporte comme forme primitive une forme sulfurée, l'uranium fait partie des métaux ayant subi, sous forme oxydée, un commencement de départ filonien à la façon de l'étain et du tungstène, en sorte qu'on le trouve, soit en inclusions dans les magmas granitiques, soit dans les filons de type stannifère directement dérivés de ces roches. Les réactions superficielles ont eu, en outre, une grande influence sur ses concentrations pratiquement utilisées.

Le minerai d'uranium le plus important est la *pechblende*, ou pechurane, substance complexe qu'on regarde comme de l'oxyde vert d'uranium (U^3O^8) mélangé à d'autres corps. La pechblende est généralement fort impure. A Joachimsthal, par exemple, elle contient seulement 40 centièmes d'oxyde d'uranium et le reste en arsenic, soufre, molybdène, avec un peu de vanadium, de tungstène, de fer, manganèse, aluminium, cobalt, nickel, cuivre, bismuth, plomb, argent, magnésium et calcium.

L'oxyde d'uranium intervient également dans la *clévéite*[1] et la *bröggerite* de Norvège, qui sont des variétés de pechblende riches en terres rares, dans la *gummite*, l'*éliasite*, la *pillinite*, qui sont des oxydes d'uranium hydratés impurs.

Il faut ensuite signaler toute une série de phosphates, probablement dus à la réaction superficielle des sel d'uranium sur l'apatite, dont nous avons vu l'abondance dans les roches granulitiques qui accompagnent souvent l'uranium comme l'étain et dans les filons mêmes de tout le groupe stannifère. Ce sont notamment la *chalcolite*, phosphate double d'uranium et de cuivre; l'*autunite* ou *uranite*, phosphate double d'uranium et de calcium; l'*uranocircite*, phosphate double d'uranium et de baryum. Puis viennent un arséniate cuivreux, la *zeunérite;* des vanadates, comme la *carnotite* (vanadate d'uranium et de potassium); des silicates (*uranophane* et *uranolite*); des combinaisons avec le niobium, le tantale, etc., comme la *samarskite*, la *fergusonite*, l'*euxénite*, la *thorite*, l'*orangite*. La chalcolite et l'uranite peuvent arriver à constituer de véritables minerais[2]. De plus, d'une façon générale, la plupart des phosphates, silicates, zirconates, titanates de terres rares renferment un peu d'uranium. Enfin quelques sulfates (*zippéite*, *uraconise*) et des carbonates se sont produits sur les affleurements des filons de pechblende de Joachimsthal. Par contre, on ne signale pas de combinaison sulfurée profonde.

Le fait que l'uranium, tout en ayant pris une forme oxydée, s'est isolé en produits filoniens et ne se combine qu'exceptionnellement avec la silice, le sépare des éléments essentiels de la scorie silicatée pour le rapprocher de l'étain et du tungstène. Certaines de ses propriétés chimiques établissent également un lien avec le chrome : lien qui ne se retrouve pas dans sa métallogénie, si ce n'est par l'apparition exceptionnelle de la crocoïse dans les filons aurifères liés à des roches granulitiques.

Sa valence est variable suivant les cas (3, 5, 4, 6, 8). Il est hexavalent dans l'oxyde UO^3; mais sa combinaison stable naturelle est l'oxyde vert, U^3O^8 de la pechblende.

[1] C'est dans la clévéite qu'a été signalé pour la première fois l'hélium.

[2] Voir Coll. Ec. d. Mines, 2837.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le principal gisement d'uranium dans le monde étant celui de Joachimsthal, nous le décrirons ici, bien qu'il fasse partie d'un groupe argento-cobaltifère (Schneeberg, Annaberg, etc.), dont la description générale sera reportée au chapitre de l'argent.

Nous ferons remarquer à ce propos la curieuse relation qui semble rattacher la présence de l'uranium à la circulation des eaux superficielles : relation qui s'accentue lorsqu'il s'agit de l'autunite ou de la chalcolite et qui aboutit alors à former des enduits de formation presque contemporaine.

JOACHIMSTHAL (Bohême)[1]

Joachimsthal se trouve dans l'Erzgebirge, à l'extrémité Sud-Ouest de la

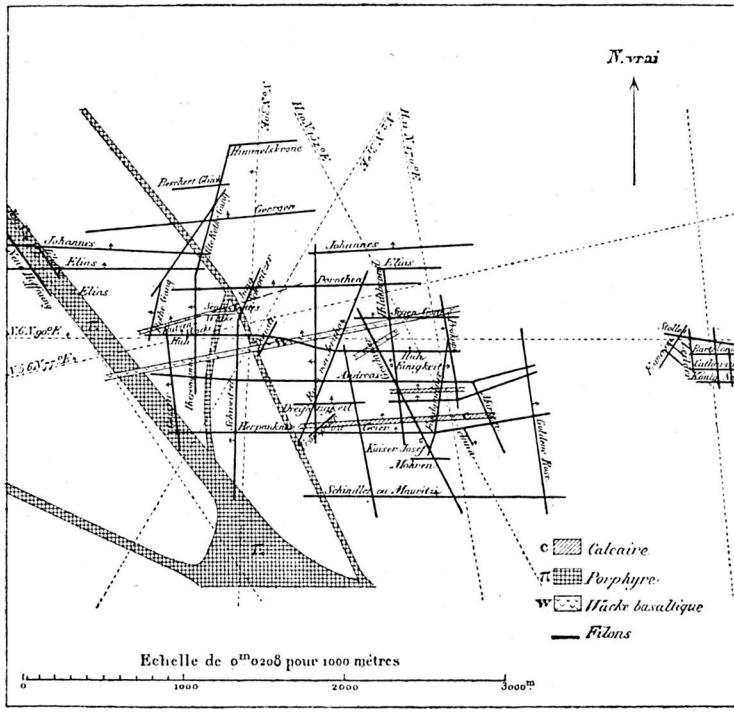


Fig. 152. — Plan des mines de Joachimsthal.
1, quartz ancien; 2, venue ferrugineuse; 3, venue sulfurée; 4, venue de l'urane; 5, venue argentifère.

grande zone métallifère qui commence au Nord-Est à Freiberg. On touche déjà, sur ce point, à l'effondrement tertiaire, jalonné par des manifes-

[1] 1856. Vogl. *Gangverhältnisse und Mineralreichthum Joachimsthals*. — 1873. G. Laube. *Aus der Vergangenheit Joachimsthals* (Prague). — 1884. Babanek. *Ueber die Erzführung der Joachimsthal Gänge* et *Die uranhaltigen Skapolith Glimmerschiefer von Joachimsthal* (Oest. Z. f. B. u. H., p. 1, 21, 61, 343). — 1891. Babanek, v. Friese et Göbl. *Geol. bergm. Karte mit Profilen und Bildern von der Erzgängen in Joachimsthal* (Min. de l'Agriculture). 1 vol. avec pl.; bibl. ant. — 1905. L. De Launay. *Les mines de radium de Joachimsthal* (La Nature, 22 avril). — 1905. J. Step et E. Becke. (Sitzungsber. Ak. Wis. in Wien. t. 113, 1re partie).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tations éruptives récentes et des sources thermales, qui limite au Sud cette chaîne métallifère. Aussi, dans le champ de filons de Joachimsthal, les dykes de basalte à néphéline ou à leucite et de phonolithe sont-ils mêlés aux filons métallifères, qui ont subi tout au moins des réouvertures d'âge tertiaire. Karlsbad, dont les eaux thermales contiennent des traces sensibles de radium, n'est qu'à 16 km. plus au Sud et l'une des mines a recoupé une venue thermale, qui a brusquement envahi les travaux sur 200 m. de hauteur.

Le champ de fractures métallisées de Joachimsthal (fig. 152) occupe environ 5 km. dans le sens Est-Ouest (qui représente la direction des terrains encaissants) et deux ou trois dans le sens Nord-Sud. On est là au milieu des schistes micacés et calcschistes, avec schistes amphiboliques, schistes à wernérite et cipolins. Les filons, qui sont très minces (ordinairement 0,15 à 0,60 m., exceptionnellement 1 m.), affectent deux directions curieusement orthogonales : les uns Est-Ouest, qui aujourd'hui ne donnent plus grand'chose; les autres Nord-Sud, donc transversaux à la schistosité, sur lesquels portent principalement les travaux actuels. Leurs minerais, très complexes comme nous allons le voir, sont surtout exploités pour uranium et radium associés, argent et bismuth.

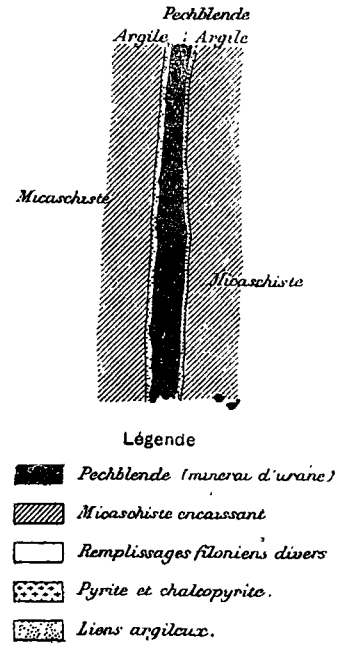


Fig. 153. — Filon N.-S. Geistergang (330 m. de profondeur). Coupe verticale au 1/40e.

L'uranium y est d'ordinaire à l'état de pechblende, ou oxyde vert impur, exceptionnellement en enduits phosphatés d'uranite.

Ce gisement, comme la plupart de ceux où on trouve l'uranium et le radium, présente, avec des manifestations hydrothermales d'origine profonde incontestable, des indices évidents de remise en mouvement et d'altération beaucoup plus récente et il est assez difficile de déterminer la part exacte qu'on doit attribuer à l un et à l'autre des deux phénomènes. L'uranium s'y trouve dans un groupement complexe, où l'argent joue un rôle industriellement important, avec toute une série de métaux sulfurés, parmi lesquels lui seul est à l'état d'oxyde et non pas dans une gangue de quartz, comme nous sommes habitués à trouver les métaux du groupe de l'étain dont on pourrait être tenté de le rapprocher, mais dans une gangue de calcite ou de dolomie.

Quelques coupes ci-jointes des filons de pechblende de Joachimsthal (fig. 153 à 158), montreront comment les minerais d'uranium et de radium s'y présentent[1]. Ces veinules de pechblende, très étroites, dépassent rare-

[1] La description officielle de Joachimsthal, publiée à Vienne en 1891, contient 61 coupes semblables.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ment 3 ou 4 cm.; exceptionnellement, elles atteignent 20 cm. Dans la plupart, on trouve la pechblende associée avec des débris des terrains encaissants, des liens argileux provenant de ces schistes broyés, de la

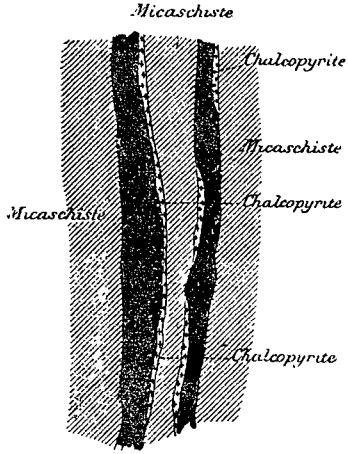


Fig. 154. — Filon N.-S. Geistergang (326 m. de profondeur). Coupe verticale au 1/40e.

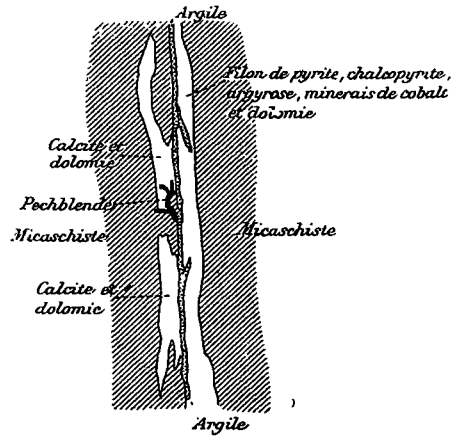


Fig. 155. — Filon N.-S. Junghäuer Zechergang (400 m. de profondeur). Coupe verticale au 1/40e.

dolomie et de la calcite. Parfois, comme sur les figures 154, 155 ou 158, un premier dépôt sur les parois, antérieur à la pechblende, est formé de

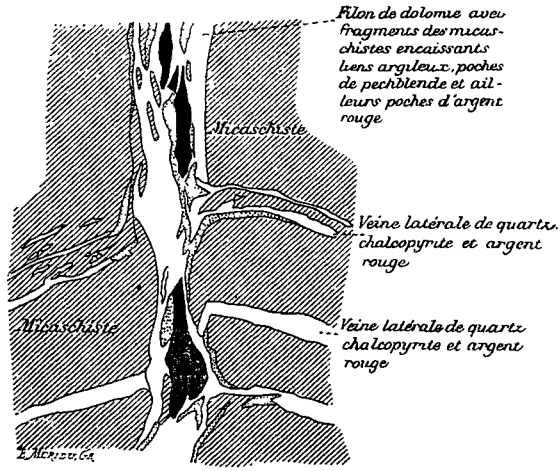


Fig. 156. — Filon N.-S. Hildebrandgang (214 m. de profondeur). Coupe verticale au 1/40e.

pyrite ou chalcopyrite, que l'on voit à l'occasion se transformer en hématite. Souvent, la veine de dolomie et pechblende renferme des mouches postérieures d'argent rouge ou d'argent natif. Sur la figure 156, on peut voir comment une semblable veine de dolomie avec pechblende et ura-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nium recoupe, en les rejetant, des veines antérieures, où se trouve la chalcopyrite. Ailleurs, les veines d'uranium, accompagnées de la dolomie qui est leur satellite fréquent, traversent un filon de quartz, chalcopyrite et arsenic natif, produit secondaire, et l'on voit également l'arsenic intervenir au contact sous la forme d'argent noir arsenical. Dans un autre point encore, la pechblende se trouve au milieu de la galène avec des minerais complexes de nickel, cobalt, bismuth, etc.; ou bien elle est encaissée dans une gangue de quartz.

Il faut retenir, comme un fait intéressant, le développement simultané près de Joachimsthal (vers l'Est), de la wernérite et de la pechblende dans certains schistes à scapolithe, où la pechblende intervient d'une façon constante à l'état microscopique. La production de la wernérite aux dépens de feldspath accuse, en

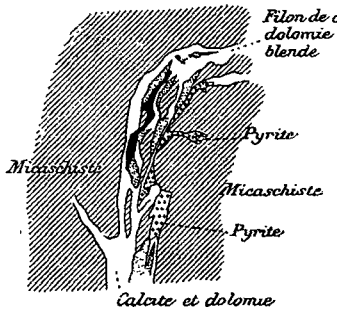


Fig. 157. — Filon N.-S. à Hildebrandgang (220 m. de profondeur). Coupe verticale au 1/40e.

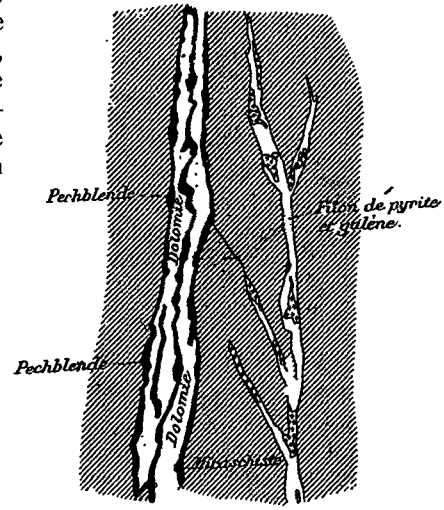


Fig. 158. — Filon N.-S. Bergkittlergang (373 m. de profondeur). Coupe verticale au 1/40e.

principe, une introduction de chlorures, qui s'est trouvée, en Norvège, au Canada, etc., particulièrement bien marquée au voisinage de grands filons d'apatite en relation avec des venues granulitiques[1]. L'ensemble des phénomènes semble donc indiquer des fumerolles chlorofluorées, émanées d'un magma granulitique profond et ayant apporté primitivement l'uranium, avec le radium connexe, dans les conditions où s'est produite d'ordinaire la cristallisation de l'étain, du bismuth, du tungstène et du zirconium. Il s'est sans doute formé ainsi des filons primitifs uranifères, comme semblerait le montrer, d'après Step et Becke, la persistance de l'uranium en profondeur plus bas que les autres métaux; mais, ultérieurement, cette formation avec sulfures connexes a dû subir une remise en mouvement avec concentration de l'uranium (et, à peu près en même temps, de l'argent et du cobalt) dans une gangue de calcite et de dolomie, peut-être empruntée aux calcschistes encaissants [2].

[1] Voir au chapitre du phosphore.

[2] Nous reviendrons plus loin, page 88, sur le rôle des altérations dans la concentration du radium.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

On peut remarquer, à ce propos, que les filons sont dans des collines, qui dominent de plus de 300 m. les vallées par lesquelles elles sont traversées. Le niveau hydrostatique, que les mines ont d'ailleurs dépassé d'environ 300 m., est donc profond et la circulation souterraine des eaux se manifeste sous nos yeux par des venues d'eau froide, qui ont constitué une véritable gêne, notamment sur l'Evangelistengang. Il faut, en outre, se rappeler, dans cette région immédiatement contiguë aux grands effondrements tertiaires et qu'accidentent des cassures Est-Ouest parallèles à ces effondrements, qu'un compartiment du sol anciennement altéré a pu se trouver descendu au-dessous du niveau hydrostatique. Quoi qu'il en soit, on a observé industriellement, dans ces mines autrefois si riches en argent, l'appauvrissement ordinaire des parties plus profondes, qui se manifeste toujours dans les filons argentifères quand on passe de la zone superficielle à minerais altérés, dans la zone inférieure à minerais intacts et restés complexes. Ces minerais d'argent de Joachimsthal sont précisément ceux que nous sommes habitués à trouver dans les altérations : argent natif, argent sulfuré, argent sulfuré antimonié et arsenical. La gangue de calcite, tout en pouvant se prolonger en profondeur, est également de celles qui se développent à l'occasion dans les minerais altérés. Enfin, autre indice de remaniement, les débris de schistes broyés, qui ont formé le premier remplissage mécanique des filons avant leur incrustation métallifère, apparaissent très fréquemment transformés en une boue argileuse, dans laquelle ces minerais sont irrégulièrement disséminés. J'ajoute le développement de l'argent rouge en enduits sur certains contacts basaltiques, etc.

Comme âge, le phénomène essentiel d'origine profonde a pu commencer avec les manifestations ignées antérieures aux éruptions tertiaires, malgré certains indices métalliques dans les dykes de basalte tertiaires (Evangelistengang, Schweizergang). Mais il est probable qu'ensuite les phénomènes de remise en mouvement ont dû intervenir, précisément pour ces veines postérieures au basalte; en tout cas, leur action est, d'une façon générale, très manifeste à Joachimsthal.

Les mines d'argent de Joachimsthal sont exploitées depuis le XVI^e^ siècle. En 1853, on y installa la fabrication des sels d'uranium qui, bientôt, a pris des proportions importantes [1].

Le prix d'achat des minerais était, il y a quelques années, calculé d'après la formule $n = 17{,}39\,h$; h étant la teneur en oxyde d'uranium, et n le prix d'un quintal du minerai sec.

AUTRES GISEMENTS D'URANIUM

Guarda et Sabugal (Portugal)[2]. — Tout le Nord du Portugal, dans les provinces de Beira, Minho et Traz-os-Montes, et la partie contiguë de la Galice sont occupés par un grand massif de granite, gneiss et terrains primaires, dont nous avons déjà eu l'occasion de mentionner la richesse en étain, tungstène, or, etc. Depuis 1908, on a commencé à y exploiter des

[1] Voir le traitement dans MOISSAN, *Chimie minérale*, t. 4, p. 866.

[2] Coll. Ecole des Mines 3008. — 1912. HERNERY et SEGAUD, *Mémoire inédit*.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dépôts d'uranite situés entre Guarda et Sabugal (Beira) vers l'extrémité Sud de ce granite qui, près Sabugal, apparaît en recouvrement anormal sur les schistes. La région comprend, en même temps, de la cassitérite, du wolfram (Valle das Mocas, Panasqueira, Pinhel), du mispickel (Pintor), de la chalcopyrite (Valle do Bicho), de la galène. L'uranite, accompagnée de chalcolite et d'urano-circite, se trouve dans des filons irréguliers de pegmatite, qui recoupent, tantôt le granite, tantôt les schistes cambriens (Pontao da Rapoula) : par conséquent, dans les conditions habituelles aux minerais du groupe stannifère. Un de ces filons a pu être suivi sur plusieurs kilomètres. Ces minerais forment des enduits minces, qui tapissent les fissures de la pegmatite et parfois aussi celles des roches encaissantes, et dont l'origine est manifestement due à la remise en mouvement de quelque minerai plus profond par les eaux superficielles, avec réaction possible sur l'apatite des roches. La teneur du minerai brut est faible ; mais la couleur jaune clair de l'uranite facilite le triage au jour et la présence du radium lui donne de la valeur.

Cependant, il existe des parties argileuses, où l'uranite invisible ne peut être décelée que par dosage électroscopique.

Les exploitations les plus importantes sont celles de la Société l'Urane, qui occupe 600 ouvriers et possède les mines de Baracao, où l'on extrait l'oxyde d'urane. Le traitement du sulfate de baryum radifère se fait près de Paris, à Nogent. La limite d'exploitabilité est d'environ 0,30 à 0,50 p. 100.

Cornwall, Suède, Plateau Central, etc. — Comme nous venons de le remarquer à propos du Portugal, les gisements de pechblende, ou d'uranite, se présentent souvent associés avec des granulites, et particulièrement, ce semble, avec des émanations granulitiques ayant pénétré les schistes en solutions hydrothermales sous pression, dans les mêmes zones où l'on trouve l'étain, le bismuth, le tungstène, etc. Il suffit de citer le *Cornwall*, où l'on a exploité un moment, vers 1889, à Grampound Road, une veine uranifère particulièrement riche avec des teneurs en urane atteignant, dit-on, 12 p. 100, et où l'on en trouve ailleurs souvent des traces (Redruth, etc.). Les roches à terres rares de *Suède* renferment parfois un peu d'urane[1]. En France, les schistes granulitisés et granulites du *Plateau Central* contiennent, en plus d'un point, des enduits minces de paillettes verdâtres qui sont des phosphates d'urane calcaires, barytiques, ou cuprifères (autunite, uranocircite, chalcolite)[2]. Ce sont manifestement des produits d'altération superficielle localisés dans des fissures, où leur disposition en enduits minces peut faire illusion sur la valeur industrielle du minerai. J'ai indiqué autrefois de la chalcolite en plusieurs points autour de Montluçon[3]. Vers Autun, à Saint-Symphorien, etc., il existe des exemples d'autunite étudiés par A. Lacroix. On retrouve la chalcolite et l'autunite à Chanteloube. Enfin la chalcolite a été signalée aussi à Douriaux,

[1] Les gisements où l'urane s'associe avec des terres rares au Brésil, dans la Caroline, en Norvège, au Groënland, seront décrits à l'occasion de ces corps.

[2] Voir LACROIX. *Minér. de la France*, t. 4, 2e partie, p. 542 à 554.

[3] *Notice de la feuille d'Aubusson* au 1/80.000e et C. R. du Congrès géologique de 1900. *Excursion à quelques gîtes du Plateau Central*, p. 18, note 1. — Coll. Ec. d. M. 1386, 2386.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

au Nord de Charbonnières-les-Varennes (Puy-de-Dôme) et à Argentelle près de Roure[1].

A *Madagascar*, il existe, en divers points, dans des pegmatites, des niobates et tantalates d'uranium, avec leurs produits jaunes d'altération (Sud de l'Ankaratra, Ouest d'Antsirabé, Mont Bandahely, Sud-Est d'Andranosamonta, entre Beforona et Tamatave). A 10 km. Sud d'Antsirabé, d'après A. Lacroix[2], des veines d'autunite, dues à une remise en mouvement récente, traversent la tourbe.

En dehors de ces cas, où il y a eu déplacement contemporain de l'uranium associé d'abord à des pegmatites dans des conditions dont nous aurons à nous souvenir à propos du radium, les venues uranifères primitives peuvent affecter un caractère récent en relation avec des roches d'âge tertiaire, comme nous en avons peut-être déjà eu un exemple à Joachimsthal.

Tel est probablement le cas pour la pechblende signalée en Hongrie, dans le district aurifère de *Rezbanya*.

Au *Colorado*, on a organisé une extraction de l'uranium et des sels de baryum radifères.

A Cédar, comté de San Miguel, on travaille sur des carnotites renfermant au maximum 2 p. 100 d'urane, avec du vanadium. Aux mines Kirk, Wood et German, dans le comté de Gilpin, on exploite la pechblende. On a également signalé de l'autunite dans les Blackhills.

Au *Tonkin*, on connaît l'autunite avec les granulites à étain et à muscovite de Tinh-Tuc (région de Cao-Bang)[3].

RADIUM[4]

Ra = 226,4

Usages et production.— Le radium, trouvé d'abord par Curie à l'état de chlorure de radium, puis isolé par M^me^ Curie en 1910, est de plus en plus employé en thérapeutique, soit par irradiation, soit par injection de sulfate de radium (traitement des eczémas, angiomes, tumeurs malignes). Il sert, en outre, à des recherches scientifiques dans les laboratoires. C'est un corps très rare, dont le chlorure ou bromure vaut encore commercialement près de 400 000 fr. le gramme. Au total, on a pu en extraire, jusqu'ici, une cinquantaine de grammes[5].

[1] 1888. GONNARD (C. R. oct.).

[2] A. LACROIX. *Sur quelques minéraux radioactifs de Madagascar* (1908. Bul. Soc. fr. Min. p. 312-313; 1911, C. R., t. 152, 6 mars, p. 559.

[3] 1908. A. LACROIX (Bul. Soc. fr. Min., t. 31, p. 259).

[4] 1908. P. CURIE. *Œuvres*. (Gauthier-Villars). — 1910. M^e^ CURIE. *Traité de Radioactivité*. (Gauthier-Villars, 2 vol.). — 1905. DANNE. (Revue *Le Radium*, n° 2, p. 34) et divers articles du même recueil. — L. DE LAUNAY. *La géologie du radium* (La Nature, 22 avril et 6 mai). — 1905. Voir *ibid.*, par le MÊME (10 nov. 1906, informations). *La Chaleur terrestre due au radium* — (9 nov. 1907). *Rubis et radium* — (30 nov. 1907). *Le poids atomique du radium* — (19 juin 1907). *La dissémination de la radioactivité* — (4 sept. 1909). *La vie et la mort de la matière*. — (11 fév. 1911). *Sur la précipitation des éléments radioactifs*.

[5] L'institut de radium de Londres, inauguré en 1911, est considéré comme riche pour posséder 1 gramme de radium. En Angleterre, la British Radium Corp. tire son radium de Trenwith.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisements. — Le rôle possible du radium, ou tout au moins de la radioactivité, dans les modifications lentes des minerais et des minéraux, prête à ce corps énigmatique un intérêt tout particulier pour la métallogénie : intérêt encore accru par l'ensemble des idées nouvelles sur la transmutation spontanée des métaux que son étude a pu faire concevoir[1].

Ce métal nouveau offre deux associations principales, l'une avec l'uranium, l'autre avec le thorium, par suite desquelles on l'extrait en partant des minerais précédemment décrits de ces deux métaux. La proportion du radium à l'uranium paraît être constamment voisine de 1 : 3 000 000 et résulter de la durée de vie limitée du radium[2]. Par sa richesse en pechblende, Joachimsthal constitue la principale source de radium dans le monde. La pechblende y renferme environ 0,1 gr. de radium par 2 t.[3] Le radium existe, en outre, à l'état de traces dans quelques gisements filoniens (de plomb, baryum, etc.) sans qu'on doive nécessairement pour cela supposer, comme on a eu une tendance trop fréquente à l'affirmer sans preuve, la présence de l'uranium ou du thorium. Le sol, les eaux sont généralement radioactifs. Il semble enfin que les actions superficielles concentrent ce corps, comme elles concentrent le baryum, le manganèse, le cobalt, et l'uranium lui-même. Car c'est, en général, dans des produits altérés que son extraction se fait le plus aisément (Joachimsthal, Guarda, pyromorphite d'Issy-l'Evêque, etc.).

Je n'ai pas à revenir sur *Joachimsthal*[4] et *Guarda*, dont j'ai remarqué plus haut les conditions d'altération, et je me contenterai de quelques mots sur *Issy-l'Evêque*, où l'on retrouve quelque chose du même genre. On a là, entre Autun et Bourbon-Lancy, en Saône-et-Loire, un système filonien, développé au milieu du granite, qui contient des veines de galène et du quartz. Ailleurs, près d'Autun, on connaît du wolfram, de la niobite, de l'autunite, etc., avec association d'apatite et d'urane, c'est-à-dire groupement du genre stannifère.

A la surface d'un de ces filons, il s'est développé, par introduction superficielle de phosphore, de la pyromorphite, qui renferme environ 1 centigramme de radium par tonne. Le quartz et le feldspath associés à la pyromorphite ne sont nullement radioactifs et la galène intacte, qui apparaît à quelques mètres de profondeur, ne l'est pas non plus. Le développement du radium semble donc lié à la circulation des eaux souterraines, qui ont pu l'emprunter à des traces d'uranium disséminées dans les schistes granulitiques de la région.

On peut, à ce propos, remarquer la fréquence du radium dans les eaux,

[1] Voir plus haut, t. 1, p. 161 et 173.

[2] En supprimant les intermédiaires, l'uranium, dont la durée de vie est de 10^9 années, produit le radium avec une vie moyenne de 2900 ans, puis l'hélium. Le thorium aboutit également à l'hélium.

[3] Dans l'autunite de France, on a trouvé $2{,}56 \cdot 10^{-7}$; dans la pechblende de Joachimsthal, $3{,}21 \cdot 10^{-7}$; dans la pechblende du Cornwall. $3{,}74 \cdot 10^{-7}$ (Mme Curie, *loc. cit.*, t. 2, p. 441). Boltwood a annoncé de même (Am. J. of Sc. 1907) une certaine constance dans le rapport du plomb à l'uranium : le plomb étant considéré par lui comme le produit final de la destruction du radium. Ce fait est, jusqu'ici, fort peu prouvé.

[4] Voir p. 80 à 84. Joachimsthal a déjà produit 13 gr. de bromure de radium comptés sur place à 250 000 fr. le gramme. Pour avoir un gramme de bromure de radium, il faut, en moyenne, 10 à 20 t. de pechblente, 5 000 kg. de produits chimiques et 50 000 kg. d'eau.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et spécialement dans les eaux thermales. La barytine déposée par les eaux de Karlsbad en renferme des traces. Près d'Issy-l'Evêque, les eaux de Bourbon-Lancy semblent particulièrement radioactives.

En dehors de ces points de concentration spéciale, la dissémination du radium dans l'écorce terrestre est telle, comme nous l'avons dit plus haut, que divers chimistes ont proposé d'y voir l'explication de la chaleur terrestre, comme, d'autre part, on y trouvait l'explication de l'activité durable du soleil. Tout sol est radioactif. Un calcul de O. Fisher montre qu'une teneur en radium de 4 à 10×10^{-12} suffirait pour donner le degré géothermique de 33 mètres avec une épaisseur de la croûte allant de 25 à 70 kilomètres.

La localisation si fréquente du radium dans les produits d'altération superficiels et de remaniement filonien trouve peut-être son explication dans des réactions chimiques qui ont été récemment étudiées par Szilard.

Il s'agit de l'entraînement qui se produit dans certaines précipitations, où un élément insoluble, en se formant et se déposant, entraîne et fixe l'élément radioactif dissous : cas particulièrement net avec le sulfate de baryum, ou les hydrates de thorium et du zirconium, qui entraînent le polonium, l'uranium X, etc. On a quelquefois expliqué ce fait, qui n'est pas spécial aux éléments radioactifs, par une parenté de l'entraîneur et de l'entraîné, par la formation d'une phase solide que constitueraient l'élément radioactif et le réactif, en résumé par une réaction chimique ordinaire. D'après Szilard, au contraire, le phénomène est d'autant plus accentué que la liqueur est plus diluée, que le précipité s'y forme plus lentement, en grains plus fins. Ces grains fins, suspendus dans le liquide comme des grains de colloïde (phases dispersées), se chargent d'électricité au contact du liquide. Ce sont des « ions solides » animés d'un mouvement propre irrégulier, des ions insolubles à faible charge, tout différents des ions électrolytiques ordinaires et susceptibles d'amener une précipitation sans que la solution se sature, sans qu'il y ait de phase solide, simplement parce qu'ils tendent à compenser leur charge aux dépens des ions électrolytiques chargés en sens inverse, parmi lesquels se trouvent les ions des éléments radioactifs. Par suite, et c'est là un fait d'observation, plus la solution est diluée, en quelque sorte homéopathique, plus l'entraînement se fait bien. En même temps, et ceci est encore un fait, l'entraînement ne dépend pas de la matière employée pour le déterminer, mais simplement de la finesse de ses grains : ce qui établit une différence essentielle avec les réactions chimiques normales.

Ces faits étant admis, la concentration du radium dans les produits altérés devient explicable.

En effet, au contact des traces de radium disséminées dans toutes les roches granitoïdes, les eaux souterraines acquièrent facilement une très légère teneur en radium. S'il est établi que cette teneur se fixe dans leurs dépôts, on comprend qu'une circulation aquifère très lente et très prolongée ait peu à peu, en même temps qu'elle altérait les minerais, amené, sur certains points de concentration, les matières radioactives, antérieurement disséminées dans un champ assez vaste. Le sulfate de baryum, qui facilite tout spécialement cette concentration radioactive, est une des substances auxquelles, comme je l'ai montré, s'applique le mieux l'hy-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pothèse d'un dépôt en rapport avec de tels phénomènes superficiels.

Peut-être, en ce qui concerne les filons métallifères, peut-on aller plus loin. Ces filons impliquent, tout d'abord, en général, des circulations très prolongées de dissolutions diluées, appliquées à des corps dont beaucoup passent pour insolubles et, postérieurement, le long de ces filons cristallisés, la circulation encore plus longue d'autres eaux souterraines qui ont dû les transformer complètement. De tels phénomènes ne doivent pas être envisagés uniquement d'après les lois chimiques des solutions saturées, mais en tenant compte des lois applicables aux dilutions très étendues et aux matières colloïdales. Les précipitations, qui s'y sont faites par éléments très fins, ont dû amener des entraînements, auxquels il conviendra de faire une place dans les théories. Les phénomènes de métasomatose et souvent de métamorphisme sont, au premier chef, des phénomènes liés à des liqueurs étendues.

Mais l'influence des substances radioactives se traduit surtout en métallogénie dans les réactions superficielles, auxquelles nous revenons, plus que dans ces réactions profondes. Ainsi l'on constate, pour les quartz tapissant les parois de certaines grottes ou géodes des Alpes, des teintes enfumées que l'on reproduit au moyen du radium. De même, certains quartz filoniens de Madagascar, au Sud d'Antsirabé, ont pris, au voisinage de la superficie actuelle, une belle teinte rose, qui disparaît en profondeur et qui s'efface également à la lumière. On sait, à ce propos, par quelles expériences récentes, on a pu, avec l'intervention de la radioactivité, modifier la couleur des saphirs, des rubis, etc.

Le même phénomène d'entraînement invoqué plus haut explique aussi pourquoi on trouve plus de matière radioactive dans les argiles et autres constituants du sol superficiel, que dans les matières primitives dont ils proviennent ; pourquoi les substances radioactives se concentrent dans les dépôts d'incrustation des sources thermales, qui elles-mêmes ne semblent pas en contenir, ou encore dans les vases des fleuves et les sédiments océaniques ; pourquoi le radium semble, d'une façon générale, monter peu à peu de la profondeur terrestre vers la superficie ; pourquoi, enfin, dans un autre ordre d'idée, les solutions des substances radioactives « déposent » toutes plus ou moins vite, probablement parce que les parois se chargent d'électricité qui attire et fixe ensuite les ions de la substance active.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXIX

TUNGSTÈNE

Tu ou W = 184

Usages. — En 1781, Scheele reconnut l'acide tungstique dans la scheelite, ou tungstein (pierre pesante). En 1783, les frères d'Elhuyart retrouvèrent le même composé dans le wolfram, qui est son minerai habituel et le réduisirent à l'état métallique.

Après être resté longtemps sans emploi, le tungstène est aujourd'hui de plus en plus utilisé sous la forme de ferro-tungstène dans la fabrication de l'acier, dont, à doses très faibles, il augmente sensiblement la ténacité et la dureté. Les premiers essais, faits dès 1860 par R. Mushet, repris en 1868 par Caron, ont surtout donné lieu à des applications rapidement croissantes dans ces dernières années [1].

Aujourd'hui, la plus grande partie du ferro-tungstène sert à préparer des *aciers extra-durs*, à résistance mécanique très élevée, pour le travail des métaux et des autres aciers, ou encore des aciers à ressorts et des aciers à aimants. En même temps qu'il durcit l'acier, le tungstène lui communique une texture à grain très fin, qui devient serrée et comme soyeuse par la trempe. Le tungstène abaisse, comme le carbone, le point de fusion de l'acier. Il y a seulement lieu de faire attention à la teneur en carbone. Au choc, les aciers bruts, tenant de 0 à 10 p. 100 de tungstène avec 0,2 p. 100 de carbone, ne sont nullement fragiles ; mais ils le deviennent quand la proportion de carbone arrive à 0,85 p. 100. Cet exemple montre l'importance de la teneur en carbone dans les ferro-tungstènes utilisés. Cependant il n'est pas toujours nécessaire d'avoir un alliage rigoureusement exempt de carbone.

Les aciers-outils au tungstène sont destinés à travailler les aciers de plus en plus durs que demande l'industrie. On emploie souvent un acier à 2,50 p. 100 de tungstène et 0,95 de carbone. Mais les qualités sont encore meilleures en ajoutant au tungstène du chrome ou du molybdène: ce qui permet d'obtenir des *aciers rapides*, remarquables par leur vitesse de coupe. On additionne encore de silicium et de manganèse pour obtenir les aciers à ressorts.

La composition d'un acier à ressorts sera, par exemple, 0,60 p. 100 de

[1] 1888. Joly. *Le Tunsgtène.* — 1909. J. Escard. *Les métaux spéciaux* (1 vol. Dunod).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tungstène, 0,45 de carbone, 0,30 de silicium et 0,22 de manganèse. Trempé et convenablement recuit, un tel acier acquiert une résistance à la rupture de 130 kg., une limite élastique de 100 kg. et un allongement de 7 p. 100.

Un bon type d'aciers à aimants permanents tient 6,22 de tungstène, 6,29 de manganèse et 0,42 de carbone.

Pour les applications métallurgiques du tungstène, l'industrie trouve, dans le commerce, ou du tungstène métallique en poudre, ou du ferro-tungstène à teneurs de 70 à 85 p. 100.

La fabrication du tungstène métallique en poudre à 96-98 p. 100, est surtout entre les mains de quelques fabricants allemands, tels que l'usine Biermann, en Hanovre, qui possèdent des mines en divers pays étrangers. En Angleterre, la « Tungsten and Rare Metals C° » fournit un métal à 97 p. 100 de tungstène. Le ferro-tungstène est couramment fabriqué en France, au four électrique, en trois qualités principales, à 85, 80, 72 p. 100.

La fonte de tungstène, ou tungstène fortement carburé, se forme aisément quand on réduit l'anhydride tungstique par le carbone au four électrique. La réduction directe du wolfram donne, dans les mêmes conditions, un ferro-tungstène à 75 p. 100 de tungstène et 3,5 à 5 p. 100 de carbone. On peut même obtenir un produit à 85 p. 100 de tungstène et 0,50 de carbone, utilisable pour la fabrication des aciers au creuset à très haute teneur en tungstène.

Accessoirement, le tungstène a quelques autres petites applications, telles que les lampes électriques à filaments de tungstène, remplaçant l'osmium, le molybdène, le tantale, le vanadium, etc., avec meilleur rendement lumineux pour même dépense d'énergie électrique.

Dans ce dernier cas, on fait, par exemple, le filament avec une pâte de métal en poudre et de gomme arabique, que l'on soumet à diverses opérations pour détruire le carbone. Ou bien l'on dépose du tungstène sur un filament de carbone qu'on élimine ensuite, ou encore on recouvre de tungstène un fil de tantale, etc. Il est facile de concevoir combien cette application serait restreinte, même si elle se développait. On calcule, en effet, qu'une tonne de wolfram à 70 p. 100 peut fournir 18 millions de lampes.

Divers alliages de tungstène avec le cuivre, le manganèse, le chrome, le plomb, etc., ont, en outre, des propriétés remarquables de ténacité et de solidité, mais sont peu employés à cause de leur prix.

Statistique[1]. — La consommation et la valeur du tungstène sont directement liées à l'essor de l'industrie sidérurgique, qui est son débouché presque unique. Elles subissent, à ce titre, des fluctuations, qui n'empêchent pas, en définitive, l'accroissement d'être notable pour l'une et pour l'autre au bout de quelques années. Avant 1900, cette production ne représentait peut-être pas 200 t. de concentrés à 60 p. 100 d'acide tungstique; elle a dépassé 6 000 t. en 1907 et 5 000 en 1909.

Dans cette production, nous avons des chiffres précis pour les Etats-Unis, où l'on est parti, en 1901, de 160 t. de concentrés à 60 p. 100 d'acide

[1] Les statistiques sont généralement données en minerais concentrés à 60 ou 70 p. 100 d'acide tungstique, l'anhydride tungstique tenant elle-même 79,31 de tungstène.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tungstique pour atteindre 1 500 t. (valant 2 450 fr. la tonne) en 1907, retomber à 600 t. en 1908 par l'effet de la crise américaine et remonter en 1909 à 1 450. Cette production, surtout alimentée par le Colorado (comté de Boulder), qui est arrivé à produire près de 1 000 t. à lui seul, n'intéresse que les Etats-Unis, où elle est consommée. L'industrie européenne s'alimente surtout en Argentine où l'on a produit 800 t. de wolfram en 1909 et en Australie (Queensland), qui fournit 4 à 600 t., puis en Portugal où l'on a extrait à peu près 600 t. de wolfram par an de 1906 en 1910, en Espagne (Galice et province de Cordoue) (380 t. en 1909), au Cornwall qui fournit également environ 360 t., enfin dans les Etats malais (100 t.), etc. L'Autriche a produit 37 t. de wolfram en 1908. En 1908, la France a produit 113 t. de wolfram (Ille-et-Vilaine); en 1909, 50 t. (Haute-Vienne). Nous donnerons quelques détails sur la production de ces gisements en les décrivant bientôt.

Prix. — Nous verrons tout à l'heure que le tungstène a deux minerais principaux, le wolfram et la schéelite. Industriellement, on préférait autrefois beaucoup le wolfram à la schéelite, comme plus facile à traiter. La méthode du four électrique a fait à peu près disparaître cette préférence.

Le minerai de tungstène se vend d'ordinaire avec garantie de plus de 50 p. 100 d'acide tungstique et avec teneur maxima de 0,20 de phosphore, 0,01 p. 100 de soufre et 1 p. 100 de cassitérite. La schéelite vaut, en moyenne, 2,50 à 3 francs de moins l'unité que le wolfram. Le marché principal pour l'Europe est à Hambourg.

La courbe des prix du tungstène accuse une tendance à l'accroissement progressif avec de rapides ascensions momentanées aux périodes où l'activité du fer est particulièrement active. Ainsi, aux Etats-Unis, le prix par unité d'acide tungstique (WO^3) est parti de 12,50 fr. en 1897 pour atteindre 30 fr. en 1909 et 37,5 fr. en 1910, après être monté à 56 fr. en 1904 et 63 fr. en 1907.

A 30 francs l'unité, un wolfram concentré à 60 p. 100 d'acide tungstique vaudra 1 800 fr. la tonne. Ce qui met la tonne de tungstène à près de 4 000 fr. et explique, par suite, la difficulté de généraliser certains emplois tout indiqués de ce métal.

Minerais. — Le principal minerai de tungstène est le *wolfram*, tungstate de fer et de manganèse, tenant théoriquement 75 p. 100 d'acide tungstique (58-60 de tungstène), mais généralement vendu en concentrés à 60-70 de TuO^3.

On rencontre aussi, assez abondamment au Colorado, un tungstate de fer presque pur, la *ferbérite*, qui tient pratiquement 64 p. 100 d'acide tungstique et à peine 0,50 de MnO. Inversement, le Colorado fournit (mine Nathalie) un tungstate presque exclusivement manganésifère, la *hubnérite*, à 70 p. 100 de WO^3 et 21,72 de MnO.

La *schéelite* est un tungstate de chaux, tenant 78 à 80 p. 100 d'acide tungstique (63,9 de tungstène).

Rôle métallogénique. — Les affinités chimiques du tungstène le rapprochent surtout du molybdène, du chrome et, jusqu'à un certain point,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de l'uranium. Il fait partie de la classe des métaux acidifiables, intermédiaires entre les métalloïdes et les métaux proprement dits. Minéralogiquement, le tungstène se sépare nettement du chrome pour se rattacher au groupe des minéraux associés à la cassitérite; il se trouve, par suite, d'ordinaire avec l'étain, souvent avec le cuivre ou le molybdène, quelquefois avec le bismuth ou l'uranium.

Les minéraux associés avec ses minerais sont ceux déjà signalés à l'occasion de l'étain[1] qui, pour la plupart, ont été reproduits par l'intervention des chloro-fluorures.

Sa métallogénie est de même tout à fait semblable à celle de l'étain, à l'occasion duquel nous nous sommes déjà trouvés décrire le plus grand nombre de ses gisements. Bien que, dans le détail, il puisse naturellement y avoir des filons de tungstène sans étain ou d'étain sans tungstène, les districts qui produisent l'un des métaux ont bien des chances pour renfermer l'autre et, dans une foule de cas, lorsque l'industrie de l'étain a commencé à demander du tungstène, vers 1885, on a pu en trouver en fouillant dans les haldes des vieilles mines d'étain où on l'avait rejeté précédemment comme stérile.

On peut également signaler son association avec l'or dans tout un groupe de filons quartzeux, d'âge tertiaire, pauvres en étain, que nous étudierons dans les Etats Malais, en New South Wales, en Nouvelle Zélande, dans l'Ouest américain, au Pérou, etc.

Le tungstène se sépare cependant de l'étain par le fait que tous ses minerais le présentent combiné avec une base, fer, manganèse ou chaux, tandis que l'acide stannique a cristallisé isolément. Il en résulte deux composés principaux, dont la répartition n'est pas identique: le wolfram, qui semble le corps le plus général et le plus continu en profondeur; la schéelite, qui, bien souvent, n'est qu'un minerai d'affleurement, produit par d'autres réactions superficielles en terrain calcaire.

Après ces remarques générales, nous allons parcourir les gisements de tungstène dans l'ordre précédemment suivi pour les gisements d'étain.

Cornwall[2]. — Nous avons déjà signalé l'abondance du wolfram dans le groupe stanno-cuprifère du Cornwall. On en a beaucoup extrait, dans ces dernières années, des anciennes haldes et aussi des développements nouveaux: soit dans la région de *Camborne-Redruth*, à East Pool, South Crofty, Carn-Brea; soit aussi dans le district de Bodmin. Dès 1881, on extrayait 55 t. de wolfram à *East-Pool*. En 1906, le Cornwall en a produit 265 t.; en 1907, 315 t.; en 1909, 480 t.

Bretagne[3]. — Une petite exploitation de wolfram a commencé en 1902 à *Montbelleux* en Luitré (Ille-et-Vilaine) sur des filons en stockwerk dans un massif de granulite, notamment près de ses contacts avec des schistes micacés. Ces filons contiennent: cassitérite, molybdénite, chalcopyrite, mispickel, un peu de blende, fluorine, etc. Près de là, à *Villeray*,

[1] Page 10.

[2] Coll. Ecole des Mines. 1545 (*East-Pool*).

[3] Lacroix. *Min. de la France*, t. 4, p. 287. — Coll. Ec. d. M. 2885 (Montbelleux).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des filons encaissés dans les mêmes schistes, renferment les mêmes éléments, sans cassitérite, mais avec bismuthine et bismuth natif.

Plateau Central. — Quelques-uns des petits gisements stannifères du Plateau Central sont autant des filons de wolfram que des filons de cassitérite. A *Cieux*, dans la chaîne de Blond, le wolfram est particulièrement abondant. On le retrouve à *Vaulry*, non loin de là; puis dans le filon de bismuth de *Meymac*; à *Chanteloube* près de Limoges (dans des pegmatites) où il est tantalifère; à *Mandelesse* et *Népoulas*, près de Limoges, etc. Mais le seul essai d'exploitation dans cette région a porté sur le filon de *Puy les Vignes*, à 4 km. S.-E. de Saint-Léonard[1].

Découvert en 1795, ce gîte fut, vers 1809, l'objet de quelques recherches faites par l'administration des mines, sous la direction de de Cessac.

En 1884, la maison Biermann du Hanovre l'acquit et l'exploita pendant deux ans (10 t. en 1884, 13 t. en 1885), puis l'abandonna de nouveau en 1886. En 1906, on a fait un autre essai de reprise.

Au milieu des micaschistes se trouvent là de petites veines de 30 à 40 cm. d'épaisseur, presque horizontales, tendant à l'interstratification, dans lesquelles le wolfram est irrégulièrement disséminé dans du quartz, avec un peu de pyrite cuivreuse et de faibles indices d'étain.

Portugal. — La production dans le Nord du Portugal s'est fortement accrue depuis 1906[2].

La mine de *Borralha* (Villa Real) est arrivée en 1910 à 384 t. de wolfram. Elle exploite 5 ou 6 filons E.-W. de 0,50 m. à 0,70 m. de large, avec quartz et wolfram, au contact du granite et des micaschistes. La teneur a rapidement baissé avec la profondeur, comme dans la plupart des mines portugaises, depuis 3 p. 100 jusqu'à 0,8 p. 100 à la profondeur actuelle de 75 m.

La mine de la *Panasqueira*, du district de Castello Banco, au S.-W. de Guarda, a produit environ 300 t. de minerais en 1908, 209 en 1910. On a là de nombreux filons de 0,10 m. à 0,60 m. dans les schistes cambriens encaissant le granite. Ces filons comprennent du quartz laiteux avec wolfram, cassitérite, pyrite et mispickel.

On cite également toute une série d'autres mines à Cabeço de Piao, Braga (Rivaes), Laborim (Villa Nova de Velha), Pinhel (Guarda), etc. A *Valle das moças* (Vizeu), on a seulement produit 15 t. en 1910 sur des filons dans les schistes cambriens.

Espagne. — En Galice, les principales mines sont celles de Tyre and Sideon, Angelita et San Finx près *Santiago de Compostella*, qui ont produit environ 250 t. de wolfram en 1908.

Une autre mine, située dans les monts de *las Cabezas* (prov. de Cordoue), produit 120 t. de wolfram et de schéelite, à 70 p. 100 de WO^3.

[1] Feuille de Limoges. — 1906. L. De Launay. *Une mine de tungstène française.* (La Nature, n° 1729, inform.). Coll. Ec. d. M. 1943 (Puy-les-Vignes), 1728 (Meymac), 1722 (Vaulry), 1742 (Bonnac).

[2] 1909. Bronckart. *Le wolfram en Portugal.* (Ann. soc. geol. Belge, 15 oct., 10 p.). Coll. Ec. d. M. 2714 (la Borralha), 2881 (Limoès).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Saxe[1]. — Beck a décrit des veines de quartz à wolfram, situées dans le Vogtland Saxon à *Tripesdorf*, au contact du granite à tourmaline avec les schistes cambriens. Ces veines, qui ont généralement moins de 0,90 m., sont bordées d'une zone tourmalinisée. Sur les salbandes, on a souvent une zone mince de muscovite déposée transversalement aux épontes avec aiguilles de tourmaline; puis, dans l'axe, du quartz avec du wolfram, un peu de pyrite, rarement de la molybdénite et pas d'étain.

Le gisement de *Sadisdorf* près Altenberg, situé également en Saxe, est riche en molybdénite et renferme de l'étain.

Asie[2]. — Le long de la traînée stannifère asiatique, on trouve le tungstène avec la cassitérite : près de Tenassérim et Mergui en Birmanie méridionale ; au Tonkin, dans le groupe de Pia-Ouac ; dans les états confédérés de Malacca, à Pérak, à Selangor, à Raub où la schéelite est au voisinage de filons d'or, puis à Bangka, etc.

Australie. — La principale production du *Queesland* est fournie par le Wolfram Camp du district d'Herberton, par Kooboore, Bamford, et Chillagoe. Cette province a fourni 236 t. de wolfram en 1906, 87 en 1907. En 1908, on est remonté à 460 t., et à 610 en 1909.

En *New South Wales*, on exploite à Hillgrove du wolfram et de la schéelite en quantités égales. La production en 1909 a été d'environ 400 t. de wolfram. Certains des filons de cette région contiennent en même temps un peu d'or.

Le territoire du Nord, produit du wolfram en quantités croissantes à Pine Creck (à 300 km. de Palmerston).

Une mine de schéelite de quelque importance se trouve à l'extrémité du lac Wakatipu, au Sud de la *Nouvelle Zélande:* la Tungstone mine, près Hyde (Otago), où cette schéelite est dans un filon de quartz aurifère.

Ouest-américain. — L'Ouest américain présente, dans le Montana, l'Idaho, le Colorado, le Nevada, la Californie, l'Arizona, un certain nombre de gisements, qui offrent cette particularité de s'associer assez souvent à des minerais d'or et dont l'âge est probablement crétacé inférieur ou tertiaire. Nous les décrirons du Nord au Sud.

En *Montana*, on connaît de la hubnérite à la mine Birdie, à l'Est de Butte, quelques poches de schéelite dans le comté de Park et un peu de wolfram dans la mine d'or de la Kimberley-Montana à Jardine.

En *Idaho*[3], on a exploité un peu de schéelite à Murray (Golden Chest mine), parfois avec de l'or.

Dans le *Colorado*[4], le *Comté de Boulder* est un centre de production

[1] 1907. R. Beck. *Ueber Sächsische Wolframerzgruben* (Z. f. pr. G., p. 37-40).

[2] L. De Launay. *Rich. min. de l'Asie*, p. 695, 725, 726, 745.

[3] 1877. Silliman. *On an association of gold with Scheelite in Idaho* (Am. j. of Sc. and arts, 3e, t. 13, p. 451).

[4] 1906. Tovote. *Ein Ausflug nach Boulder County* (Oest. Z. f. B. u. H. W., t. 54, p. 281-283). — 1907. W. Lindgren. *Some Gold and Tungsten dep. of Boulder Cy* (Col Econ. geol., t. 2, n° 5, p. 453-464). — 1907. Greenawalt. *The Tungsten dep. of Boulder County.* (Eng. a M. J. 18 mai). — 1909. R. Beck. t. 1, p. 314. — 1909. (Eng. a. min. J. 22 mai). — 1909. Wagenen. *Tungsten in Colorado.* (Quart. col. Sch. mions. avril, 36 pp.) — Mineral Industry, *passim.*

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mondial du wolfram (565 t. de wolfram en 1906 ; 1 053 t. de concentrés à 60 p. 100 d'acide tungstique en 1907, 1 500 t. en 1910, dont les deux tiers à 60 p. 100 d'acide tungstique et un tiers à 35 p. 100.

Ces gisements forment, dans le granite à gros grains, des zones de broyage, incrustées de quartz et d'un wolfram très peu manganésifère que l'on appelle la ferbérite, avec un peu de molybdénite, et de pyrite. On n'y signale pas d'étain, mais des traces d'or, qui se développent dans un filon voisin à Sugar Loaf.

Les mines occupent deux zones : l'une le long du Boulder Creck, à l'Est de Nederland; l'autre à 2 km. Nord de Nederland. Les principaux exploitants sont la Primos Mining, la Philipp Bauer et la Wolf Tongue. Une grande partie des travaux se fait à l'usine de Wolf Tongue à Nederland.

Au *Nevada*, on exploite un peu de wolfram associé à de la hubnérite, à près de 3300 m. d'altitude, dans le massif granitique d'Osceola.

En *Californie*, la région d'Atolia, dans le comté de San Bernardino, produit du wolfram en filons quartzeux dans le granite.

Enfin, dans le S.-E. de l'*Arizona*, comté de Cohiri, un peu au Nord de Dragon, on trouve du wolfram et de la hubnérite en quantités assez importantes, dans des filons quartzeux très irréguliers, recoupant du granite gneissique au voisinage des filons d'or et dans les alluvions qui en dérivent.

Los Condores (Argentine)[1]. — Le wolfram de la République Argentine donne lieu, depuis quelques années, à une exploitation qui a pris un grand développement malgré des frais de transport énormes. Les minerais s'y trouvent dans des filons remarquablement continus, qui traversent les gneiss et terrains cristallophylliens.

On est là dans un massif ancien ayant subi des plissements hercyniens, avec une mise en place de granites qui a entraîné la formation de divers filons métallifères contenant surtout de la pyrite et du mispickel aurifère, de la pyrite cuprifère, etc. Dans le groupe de l'étain, on a du tungstène, du bismuth, exceptionnellement de l'étain même.

Au Nord de la province de San Luis, près celle de Cordoba, se trouve le filon de Los Condores. Là des intrusions de granite, datant probablement de la fin du primaire, sont recoupées par des andésites. Le filon principal, large de 0,80 m. à 1 m. et reconnu sur 1 200 m. de long, est encadré dans des schistes métamorphiques, chargés de tourmaline au contact. La tourmaline est également abondante dans le filon quartzeux qui présente souvent, sur ses salbandes, une zone de mica perpendiculaire aux épontes. Le wolfram, du groupe de la ferbérite, contient du tantale et du niobium. Il est accompagné de schéelite. A un endroit, le filon principal s'associe à un filon de pegmatite contenant tourmaline, apatite et grenat.

On a produit, en 1908, 535 t. de minerai concentré (1600 depuis

[1] 1894 à 1905: Bodenender. *Die Wolfram Minen der Sierra de Cordoba* (Z. f. pr. G., 1894, p. 409-414 ; 1900 et t. 17, p. 1903). *Communic. Min. y mineral* (Bol. de la Ac. Nac. de Ciencias de Cordoba, t. 16, p. 206-219). — Le même. *La Sierra de Cordoba y prod. min. de aplication* (Ann. min. Agr. Buenos-Ayres, 1905, p. 119-124). — 1910. Barrié (Provincia de San Luis. An. min. agric., p. 44).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'origine de la compagnie). Plus au Nord, on connaît quelques filons de bismuth et de wolfram. Au Sud, au contraire, on retrouve le wolfram dans les mines de San Roman et de la Puntana (district de la Carolina) exploitées par la même compagnie. Le filon est ici complètement vertical et contient wolfram, schéelite, pyrite de fer, chalcopyrite, quartz, mica, tourmaline et fluorine. On y remarque l'absence de l'étain. La teneur moyenne est de 0,5 p. 100 de minéral concentré par tonne de minerai brut. Le transport à Hambourg revient à 370 fr. la tonne, dont 290 pour aller par charrettes des mines à la station de la Toma. On a produit 60 t. en 1908.

On a signalé encore, en 1903, la présence d'un peu d'étain pouvant s'accompagner de tungstène dans les provinces de *Catamarca* et *Rioja*. A Mazan, département d'Arauco (La Rioja), des filons de cassitérite avec mispickel et scorodite ($H^8Fe^2As^2O^{12}$) s'encaissent dans le gneiss.

Enfin, dans la *Sierra de Cordoba*, des filons, encaissés dans le granite, et le gneiss, contiennent wolfram, schéelite, molybdénite, pyrite, chalcopyrite, peu d'étain, parfois tourmaline, apatite, fluorine.

Les filons de la Sierra de Cordoba, présentent cette particularité que le wolfram avec tourmaline s'y associe à de la galène en se concentrant sur les salbandes.

Lircay (Pérou)[1]. — Au Pérou, dans la province d'Angaraes, du département d'Huancavelica, se trouvent, à Lircay, des filons de wolfram avec quartz ferrugineux et pyrite de fer qui, d'après des essais, contiendraient 180 gr. d'or par tonne de minerai concentré à 56 p. 100 d'acide tungstique. Ces filons sont décrits comme encaissés dans une diorite pyriteuse.

[1] 1904. Habich. (Bol. Cuerpo Ingen. de Minas del Peru, 11).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

CHAPITRE XXX

POTASSIUM

K = 39, 10

Usages. — Le *potassium* métallique est remplacé par le sodium moins coûteux dans tous les cas où on aurait pu songer à s'en servir (réduction des oxydes ou des chlorures); mais on utilise plusieurs de ses composés, qui donnent lieu à une importante industrie :

Potasse caustique : réactif chimique, pierre à cautères, savons.

Chlorure de potassium (K = 52,48 p. 100) : Matière première pour la plupart des sels de potasse, et pour la fabrication de la potasse et du chlore par électrolyse ; médicament. Le chlorure de potassium de Stassfurt, impur, mais débarrassé de son chlorure de magnésium, sert comme engrais.

Bromure et iodure de potassium : médecine et photographie.

Cyanure de potassium (KCAz; K = 60,05) : emploi important pour le traitement des minerais d'or; utilisé en galvanoplastie, pour obtenir des cyanures doubles d'argent, d'or, etc. (argenture et dorure); photographie.

Prussiate de potassium (cyanoferrure jaune) ($FeCy^6K^4$) ; matière colorante, sert à la fabrication du bleu de Prusse en teinture.

Foie de soufre (mélange de sulfate de potassium et de pentasulfure de potassium) : bains sulfureux, etc.

Carbonate de potassium (KCO^3; K = 56, 62) (potasse du commerce): fabrication des verreries façon Bohême, des savons mous, du chromate et de l'acétate de potasse.

Hypochlorite de potassium (ClOK), ou eau de Javelle : décolorant.

Chlorate de potassium (ClO^3K) : fabrication de poudres brisantes, d'allumettes chimiques, de capsules fulminantes, de poudres-éclair au magnésium; avivage des couleurs d'impression en utilisant ses propriétés oxydantes ; thérapeutique ; préparation des autres chlorates de baryum et de strontium, employés eux-mêmes en feux d'artifice.

Sulfate neutre : fabrication de l'alun de potasse ; médecine ; engrais.

Azotate de potassium, ou salpêtre ($KAzO^3$; K = 38, 69) : fabrication des poudres de chasse et de mines, où l'azotate de sodium trop hygrométrique ne peut le remplacer (autrefois également fabrication des poudres de guerre); engrais à la fois azoté et potassique ; conservation des viandes salées ; thérapeutique ; oxydant et fondant en métallurgie.

Chromate de potassium : industrie des matières colorantes (voir au chrome).

Silicate de potassium : donne un verre soluble, rend incombustible, per-

[1] Pfeiffer. *Handbuch der Kali Industrie.* — 1902. Groth. *The Potash Salts. Their prod. and appl.* (London, 291 p.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

met de durcir le calcaire tendre (statues du Louvre et de Notre-Dame de Paris) ; sert pour fixer la couleur des peintures murales ; mais est généralement remplacé par des produits moins chers ; verre soluble de sodium ou verre soluble mixte (sodium et potassium).

Voici les prix cotés de ces substances aux 100 kg. :

TABLEAU 2. — PRIX DES SELS DE POTASSE A PARIS EN 1890, 1910, 1911[1]

	1890	1910	1911
Chlorate de potassium.	140 fr.	95	107
Nitrate de potassium	45 —	66	
Potasse caustique (45 à 90 p. 100)	50 —	45 à 60	50 à 65
Chlorure de potassium (75 p. 100 KCl) . . .	22 —	19	21.25
Sulfate de potassium (à 90 p. 100)	27.50	21	24
Kainite (12,4 p. 100 minimum)	2.50	»	5.50
Engrais potassique concentré à 20 p. 100. .	11.90	6.20	
Engrais potassique à 48 p. 100	18.50	11.25	

Industrie de la potasse. — Autrefois, l'industrie de la potasse tirait, comme je vais le rappeler, sa matière première de sources organiques. Depuis qu'elle est devenue une industrie à peu près exclusivement minérale, elle est presque monopolisée. En dehors de la province de Béchar, dans l'Inde, qui fournit environ 20 000 t. de salpêtre et du petit gisement de Kalusz en Galicie, il n'existe, en effet, dans le monde, que deux centres importants pour la production de la potasse : Stassfurt et l'Alsace, tous deux aujourd'hui situés en Allemagne et le dernier seulement reconnu depuis 1908. Le gouvernement allemand, qui est propriétaire de quelques-unes des principales mines, réglemente ainsi le commerce mondial du « Kali », en assurant des prix fort bas aux agriculteurs allemands et taxant au contraire très cher les potasses d'exportation, qui partent, notamment, en grandes quantités pour l'Amérique. Les Américains ayant acheté deux des mines nouvelles d'Alsace pour se défendre contre le syndicat allemand, le gouvernement a pris, en 1910, l'initiative d'un syndicat officiel destiné à réglementer la production et à assurer les prix, compensant ainsi les prescriptions socialistes qu'il impose souvent, d'autre part, aux industriels.

Le tableau suivant montre les progrès de la production.

TABLEAU 3. — PRODUCTION MONDIALES DES SELS POTASSIQUES (EN 1 000 TONNES)

ANNÉES	ALLEMAGNE (BASSIN DE STASSFURT, ETC.)					SALPÊTRE DE L'INDE
	Kainite.	Chlorure de potassium.	Sulfate de potassium.	Sulfate de potassium temagnésium.	Sels de potassium autres que la kainite.	
1884. .	203	112	—	12	—	—
1898. .	1 103	191	18,8	14	1 105	18,3
1908. .	2 715	508	55,7	33	3 500	20
1909. .	3 181	629	68,5	38,7	3 860	24,6
1910. .	4 249	741	84,6	37,44	4 052	»

[1] Le prix à Paris est supérieur à celui de Stassfurt de 3 fr. pour le chlorure, le sulfate et la kiesérite, de 2,40 fr. pour la kainite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A Stassfurt, le premier puits a été foré, de 1839 à 1843, sur 256 m. de profondeur. La première exploitation des sels de potassium y fut organisée, en 1861, par A. Franck. Actuellement, il existe une cinquantaine de mines alimentant une industrie chimique considérable. La découverte des gisements d'Alsace est, au contraire, toute récente et ses effets industriels se font peu sentir jusqu'ici. Il est singulier qu'on n'ait encore reconnu, en aucun autre pays, les gisements analogues, qui doivent certainement exister ailleurs, associés aux sels de sodium. Quant aux tentatives pour extraire la potasse des roches ou minéraux potassiques, elles ne sont, jusqu'à nouvel ordre, qu'une curiosité intéressante[1].

Minerais et rôle géologique de la potasse. — La potasse entre pour une part importante dans la constitution générale de l'écorce terrestre. La teneur moyenne en potasse des roches est, d'après Clarke, de 2,80 p. 100 avec 3,60 de soude, et bien des roches ont une teneur beaucoup plus élevée. La teneur moyenne en alcalis de quelques roches principales est la suivante, le rapport K/N indiquant la proportion moyenne de la potasse à la soude.

TABLEAU 4. — TENEURS EN ALCALIS DES ROCHES

	Total des alcalis. p. 100.	Rapport K/N.
Granite	7 à 9	3 à 0,33
Granite à mica blanc	6 à 8	id.
Microgranulite	5 à 8	id.
Rhyolite	7 à 9	5 à 0,20
Syénite	9	9 à 0,15
Trachyte	8 à 10	4 à 0,67
Syénite éléolitique	jusqu'à 20	1 à 0,33
Diorite	5	1 à 0,10
Andésite	7	1 à 0,40
Gabbro	2 à 3	0,66 à 0,14
Basalte	3 à 5	0,50 à 0,10

Cette teneur en alcalis tient surtout aux feldspaths ou aux feldspathoïdes et aux micas. L'orthose, dont la composition théorique répond à 16,9 de potasse, en renferme pratiquement 11 à 12 p. 100 avec 1 à 3 de soude, et l'albite 12 p. 100 de soude. Dans les plagioclases, par contre, la potasse passe à l'état de traces, tandis que la soude diminue progressivement de l'oligoclase au labrador et à l'anorthite. Dans la leucite, on monte à 15 ou 22 p. 100 de potasse : ce qui a fait choisir ce minéral pour les premiers essais d'extraction directe de la potasse en partant des roches. La néphéline tient encore 1 à 7 p. 100 de potasse, avec 15 p. 100 de soude.

Parmi les micas, dans les biotites, on a 7 à 9 p. 100 de potasse avec 0,5 à 1,5 de soude ; dans les muscovites, 9 de potasse et 0,7 de soude ; dans les phlogopites, 7 à 8 de potasse avec 1 à 2 de soude ; dans le lépidolithe, 10,9 de potasse et 4,2 de lithine.

Tous ces alcalis des roches étant très facilement solubles à l'état de

[1] Un travail d'OCHSENIUS (*Die Kunstdunger Industrie*, t. 11, n° 9, 1911) considère les ressources en sels potassiques de l'Allemagne comme suffisant pour alimenter, pendant 600 000 ans, une consommation annuelle de 5 MT. Ces sels occupent, suivant lui, 62 000 km² à raison de 56 MT par km².

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chlorures, sulfates, carbonates, etc., lorsque ces roches sont soumises à une altération superficielle, il en résulte la présence des alcalis dans toutes les eaux superficielles ou souterraines en rapport avec des roches cristallines et, finalement, l'accumulation de ces alcalis dans la mer, où, nécessairement, malgré l'évaporation locale de quelques gisements salins, la salure a dû aller sans cesse en s'accroissant au cours des périodes géologiques [1].

Actuellement, sur les 3 p. 100 de sels dissous que renferme l'eau de mer, on compte environ, par litre, 0,5 gr. à 0,7 de chlorure de potassium et 7,59 mgr. de sulfate, contre 29,4 gr. de chlorure de sodium. La teneur en potassium est de 0,04 contre 0,15 pour le sodium.

La grande prédominance de la soude dans les mers et, par conséquent, dans les dépôts salins, s'explique par la solubilité plus grande des sels de soude.

Plus anciennement, on doit supposer que les eaux thermales métallisantes, par lesquelles ont été incrustés les filons, étaient sans doute également riches en alcalis. Un grand nombre de dépôts métallifères, qui ont une relation avec les plus alcalines de ces roches, granites à mica blanc, syénites néphéliniques, etc., ont pu avoir leur formation favorisée par ces liqueurs alcalines. Mais ces alcalis solubles ne sont pas restés dans les filons et, quand on trouve dans un filon métallifère quelques alcalis sous forme d'albite ou de zéolithe, on peut attribuer généralement leur présence à un phénomène secondaire.

Enfin, la potasse a été introduite dans l'organisme des êtres vivants. Elle constitue un élément essentiel dans la vie des plantes, auxquelles, le sol une fois appauvri en sels potassiques naturels, on est amené à en rapporter sous forme d'engrais.

Des travaux récents ont mis en lumière le rôle des zéolithes du sol arable dans l'assimilation de la potasse par les plantes. Ces zéolithes sont des silicates hydratés d'alumine et de bases diverses. Une action de masse fait que la base dont la proportion est la plus forte se substitue en elles à une base moins abondante et s'y fixe [2]. C'est ainsi que les zéolithes du sol, en présence d'un engrais potassique, se chargent de potasse, dont elles empêchent ainsi la dissolution et la perte ; puis elles rétrocèdent celle-ci aux racines des plantes, en échange d'autres bases, absorbées d'abord provisoirement par les plantes, mais inutiles à leur nutrition.

Cette introduction de la potasse dans la végétation amène, d'autre part, à la rechercher dans les cendres de bois, dans les varechs, dans les vinasses de betteraves, etc.

Des forêts entières ont été brûlées en Russie, en Amérique pour retirer la potasse du lessivage de leurs cendres. La teneur varie avec la plante et avec la nature du sol. Les cendres renferment la potasse à l'état de carbonate, sulfate, chlorure, phosphate et même silicate. La partie soluble des cendres donne le *salin*, l'insoluble la *charrée*. 100 kg. de bois de chêne, hêtre, charme, etc., fournissent 1 kg. de cendres, dont 100 à 200 gr. de potasse ; les sureaux, les noisetiers, 2 à 4 kg. de cendres et 400 à 500 gr. de salin ; les fanes de pomme de terre, de colza, de pavot, les orties, les

[1] Voir De Launay. *Contr. à l'étude des gîtes métal.*, p. 46; *Science géologique*, p. 340 et, plus haut, le tableau tome 1, p. 224.

[2] 1910. A. Hébert. (La Nature, n° 1923, 2 avril).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chardons donnent 3 à 6 kg. de cendres et jusqu'à 1 kg. de potasse.

Les animaux, à leur tour, s'assimilent de la potasse, qui passe dans leurs tissus et s'accumule parfois assez dans certains produits (suint de mouton) pour qu'on ait eu intérêt à l'en extraire.

GISEMENTS DE STASSFURT[1]

Situation. — La formation saline de Stassfurt-Anhalt est située dans la partie supérieure du Zechstein ou Thuringien, à la base d'un vaste dépôt triasique qui entoure Magdebourg.

On sait, par de nombreux sondages, que, sous les couches quaternaires de l'Allemagne du Nord, il existe souvent de puissantes formations salines. Le fait a été constaté à Sperenberg, district de Potsdam, à Inowraclaw (Posen), à Segeberg près de Hambourg, etc.; le sel a toujours été rencontré à une profondeur de 90 à 150 m.; et nulle part, même à 1 270 m. de profondeur à Sperenberg, on n'est arrivé au mur de la couche de sel.

Mais, si les conditions, permettant le dépôt du chlorure de sodium, ont été ainsi réalisées sur de vastes espaces avec une amplitude extraordinaire, celles qui ont amené le dépôt des sels potassiques sont, au contraire, très localisées dans la région de Stassfurt, sur le bassin de Magdebourg-Halberstadt, à environ 30 km. au Nord de l'importante région cuprifère du Mansfeld, que nous aurons plus tard à étudier. La formation potassique repose là sur une puissante assise de sel gemme, probablement assimilable à celle de Sperenberg et celle-ci, à son tour, vient stratigraphiquement passer par-dessus le zechstein inférieur cuivreux du Mansfeld (fig. 159).

Le bassin de Stassfurt, si on le considère dans toute son extension géologique, va, dans le sens N.-S., de la vallée de l'Elbe, à quelques kilomètres Sud de Stassfurt, où les strates prennent un prolongement inverse.

Au centre du bassin, une grande ondulation a relevé considérablement les couches (fig. 160).

[1] 1865. De Selle. *De la saline de Stassfurt* (Cuyper, t. 17, p. 34). — 1865. Fuchs. *Mémoire sur Stassfurt* (Ann. d. M., 6e, t. 8). — 1866. Habets. *Sur le développement industriel du bassin salifère de Magdebourg-Halberstadt* (Cuyper, t. 19, p. 120). — 1876. Bischof. *Die Steinsalz Bergwerke von Stassfurt.* — 1877. Prietze. *Neue Erklärungen über Stassfurt* (Journ. Carnall, t. 25). — 1877. Ochsenius. *Die Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalz unter spec. Berück. der Flötze im Douglashall*, In-8°, 172, p. 3 pl. — 1884. Cadell. *On Stassfurt Salt Deposits* (Phil. trans. R. Soc., p. 92). — 1888. Janet. *Sur le traitement industriel des sels de Stassfurt* (Ann. d. M., 8e, t. 14, p. 479). — 1893. Ochsenius. *Bedeutung des orographischen Elements « Barre »* (Z. f. pr. G., p. 189, 217). — 1895. Kloos. *Die neuren Aufschlüsse über die Ausdehnung der Kali und Magnesia Lagerstätten* (Z. f. pr. G., p. 115). — 1898. Kraut. *Die Kali-Industrie der Provinz Hannover* (Berlin. Seydel). — 1899. Lang. *Kalisalzlager* (Berlin, Dummler, 48 p.). — 1901. Ochsenius. *Einige neue Vork. in der Kaliregion des ob. Zechsteins von N. Deutschland* (B. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. zu. Marburg, 21 p.). — 1902. Ochsenius. *Ueber die Temper. in der Tiefe des ehemaligen Kalibusens unter der Nord-deutsch. Ebene* (Mortanmarkt, 22 mars, p. 2-3). — 1902. Frank. *Das Jubiläum des Stassfurter Salzbergbaues* (Z. f. angew. Chem. p. 265-278). — 1902. *Gesch. des Salzwerks zu Stassfurt* (pour le 50e anniv.) (Pr. Z. f. B. H. u. S. W., p. 1 à 91). — 1905-09. J. H. Van't Hoff. *Zur Bildung der oceanischen Salzablagerungen* (in-8°, Braunschweig) (résumé dans Rev. gén. Sc., 12 nov. 1909). — Max Krahmann. *Fortschritte der praktischen Geologie.* Bibl. p. 323. — On trouvera un étude plus détaillée dans Fuchs et De Launay, tome 1, p. 429 à 460.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les dépôts salifères les plus importants sont ceux du versant Nord. Ce sont les plus activement exploités.

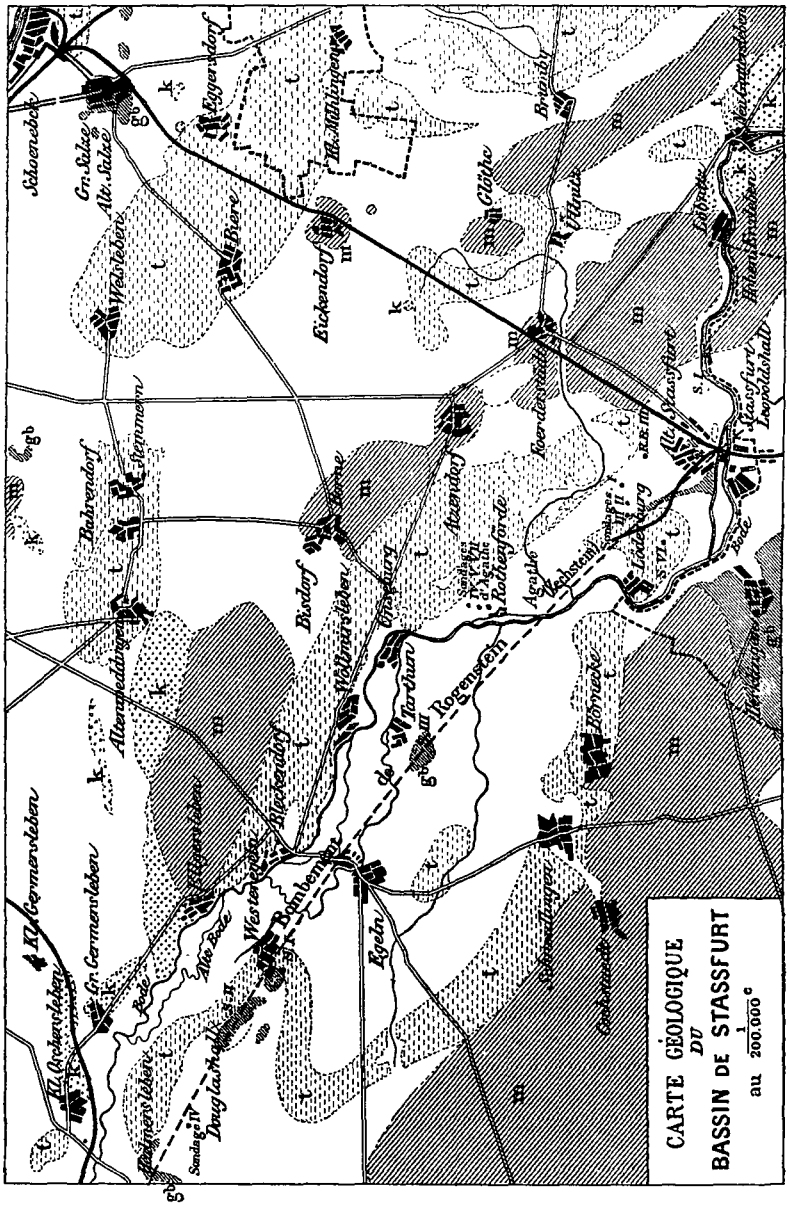


Fig. 159.

Constitution géologique. — Dans toute cette région de Stassfurt, les terrains permiens et triasiques forment, au-dessous du tertiaire et des alluvions qui les recouvrent en grande partie, une série de bandes paral-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lèles alignées NW.-SE. Une coupe NE.-SW., perpendiculaire à la direction des couches, met en évidence l'existence d'un grand bombement (fig. 160), faisant apparaître, de Douglas-Hall à Agathe et Stassfurt, suivant un axe NW.-SE., le toit de la formation salifère (rogenstein et schistes bitumineux), au-dessous duquel commencent immédiatement, en profondeur, le gypse et les sels potassiques. A droite et à gauche de cet affleurement de rogenstein, apparaissent, dans le même ordre, des deux côtés de la figure, les terrains supérieurs au zechstein, grès bigarré (gb), muschelkalk (m) et keuper (k).

La coupe classique de Stassfurt suivant cette direction NE.-SW. est, du haut en bas, la suivante :

Sel récent (jüngeres Steinsalz);
Schistes bitumineux avec rogenstein;
Gypse et anhydrite.

4e zone salifère : *Zone de la carnallite* (chlorure de potassium et magnésium), avec kaïnite (chlorure de potassium et sulfate de magnésium) et sylvine.	40	mètres.
3e zone salifère : *Zone de la kiésérite* (sulfate de magnésium hydraté).	60	—
2e zone salifère : *Zone du sel impur et de la polyhalite* (sulfate de calcium, magnésium et potassium)	60	—
1re zone salifère : *Zone du sel gemme pur ancien* (ælteres Steinsalz), avec bancs d'anhydrite. . . . . plus de	330	—

Transversalement à la direction des couches, les quatre zones successives apparaissent symétriquement des deux côtés du bombement central. Sur cette coupe (fig. 160), on peut remarquer l'existence latérale, au-dessus du gypse qui forme le toit du gîte, de la masse de sel la plus récente (jüngeres Steinsalz) recouverte en discordance par les schistes bitumineux.

Sur un profil en long (fig. 161), la complication et l'irrégularité sont beaucoup plus grandes. On y voit la couche de gypse qui, à Stassfurt, recouvre la carnallite, disparaître dans un accident placé à la concession Agathe, tandis que le sel plus récent vient, à Douglas-Hall, se superposer immédiatement à la carnallite et que, dans cette partie NW, l'anhydrite passe au-dessus de ce sel plus récent. De même, au SE, du côté d'Anhalt et Neu-Stassfurt, un accident, peut-être dû à une faille, change la disposition des couches. Tandis que le bombement transversal résulte d'un phénomène mécanique postérieur à la sédimentation, ces anomalies du profil en long tiennent en grande partie aux conditions du dépôt, qui variaient évidemment, par suite de la présence de quelques seuils et barrages, lorsqu'on se déplaçait suivant une ligne NW.-SE.

Nous allons décrire rapidement ces diverses zones dans l'ordre même où elles se sont déposées, c'est-à-dire de bas en haut.

1° Sel gemme ancien. — Cette zone a été recoupée sur plus de 330 m. de verticale. Le *sel gemme pur* est mélangé de 5 p. 100 d'*anhydrite*, disposée en filets minces et réguliers. Le toit de cette couche renferme déjà de rares sulfates et un peu d'*hydroboracite* (borate hydraté

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

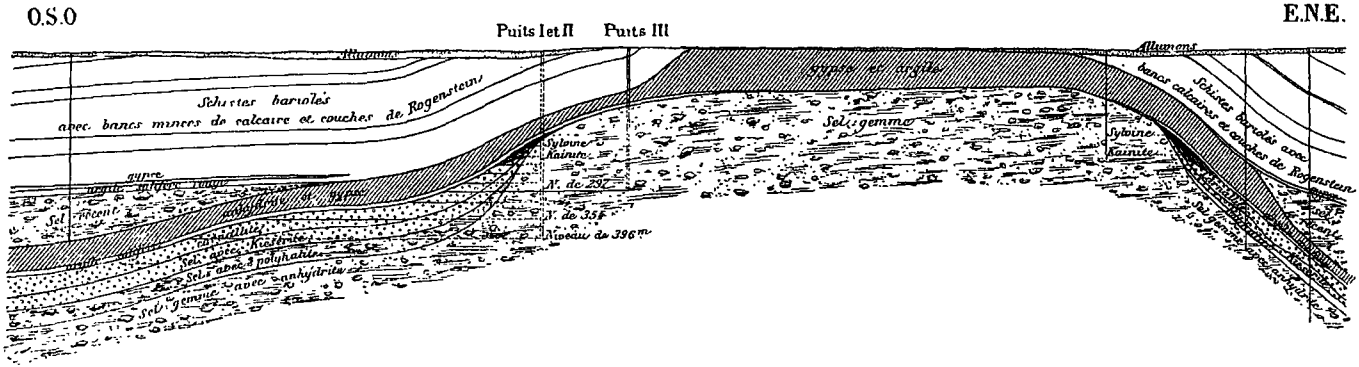


Fig. 160. — Coupe transversale, SNE-WSW. du bassin de Stassfurt.

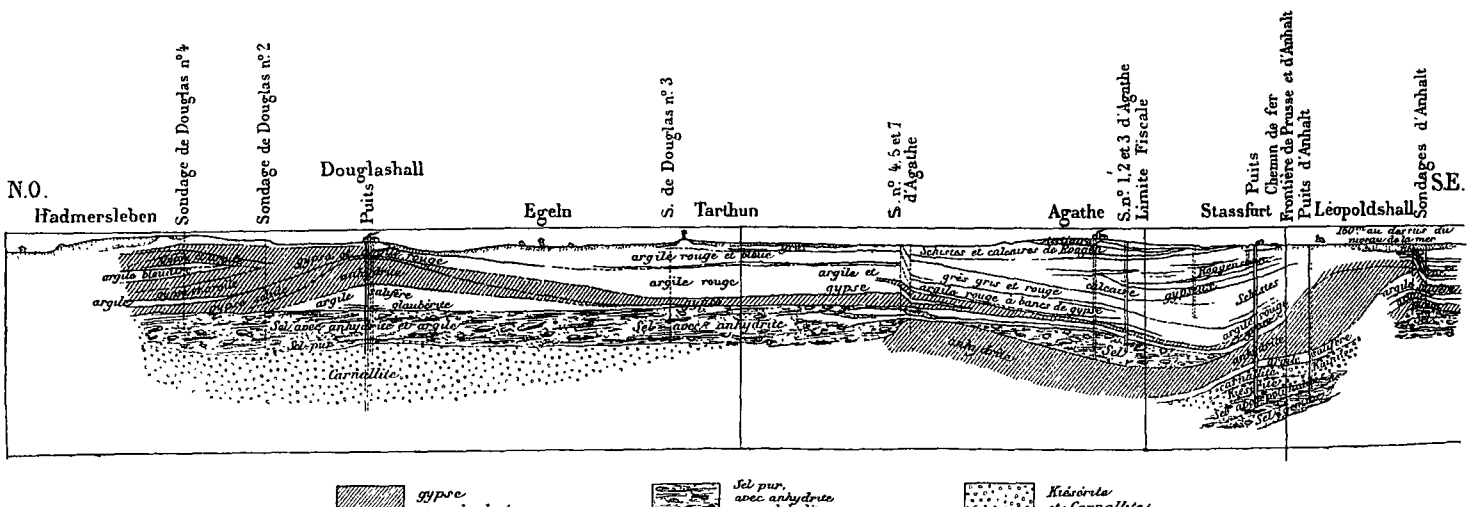


Fig. 161. — Coupe en long, NW-SE, du bassin de Stassfurt.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de calcium et de magnésium), annonçant la présence des borates qui deviennent exploitables dans la zone plus élevée de la carnallite.

Le sel gemme, qui est l'élément le plus important de cette zone, est, en général, assez homogène, blanc après pulvérisation et incolore en masse, sauf lorsqu'il est mélangé de matières étrangères; il est alors gris, brun ou rouge.

D'ordinaire, il forme des masses compactes à texture cristalline. En grand, il ne présente aucune stratification. Les variétés sont le *sel compact*, simplement translucide et le *sel fibreux*, qui paraît indiquer une action mécanique, une sorte d'écrouissage.

Le sel gemme de Strassfurt est très pur. Celui de Douglas-Hall comprend des cristaux microscopiques d'anhydrite mélangés à sa masse. On y trouve des débris organiques constitués par des plantes microscopiques.

Tout ce sel renferme de nombreuses bulles de carbures d'hydrogène liquides ou gazeux, souvent visibles à l'œil nu et donnant une proportion de carbures d'environ 3,5 cm^3 par kilogramme pour le sel gemme et 8,5 cm^3 par kilogramme pour les sels à base de potasse et de magnésie. Ces gaz provoquent souvent le phénomène de la « pousse » dans l'abatage, et sont cause de la décrépitation du sel sous l'action de la chaleur.

Disons de suite à ce propos que l'on a analysé, en 1911, quelques-uns des gaz combustibles dégagés plus haut par la carnallite. On y a trouvé environ 83,6 p. 100 d'hydrogène, 4,4 p. 100 de méthane et 12 p. 100 d'un résidu dans lequel on peut reconnaître l'hélium et le néon en absorbant les autres gaz par le charbon à la température de l'air liquide. La proportion des gaz rares atteint 0,17 p. 100. La présence de l'hydrogène était difficile à expliquer par des réactions purement chimiques ; mais la présence simultanée de l'hélium a fait croire que cet hydrogène provient de la décomposition de l'eau par des substances radioactives, qui seraient complètement détruites.

Malgré la pureté du sel gemme extrait de la zone profonde, il ne saurait être employé pour les usages domestiques. Il est, en effet, recoupé par de petites veines d'anhydrite que l'on ne peut enlever industriellement.

Ces veines, que les mineurs appellent des *Jahrringe* (anneaux d'un an), forment des surfaces de stratification dans la masse de sel gemme. Elles ont 6 millimètres d'épaisseur et découpent des bancs de 2,5 cm. à 15 centimètres (en moyenne 9) d'épaisseur normale. Nous verrons plus tard leur intérêt au point de vue théorique. Elles sont constituées par de petits cristaux d'anhydrite, cimentés par du sel gemme et formant 49 p. 100 de leur poids. Au total, la proportion d'anhydrite renfermée dans l'ensemble du massif est d'un peu moins de 5 p. 100.

Cette anhydrite, comme le sel, est souvent bitumineuse.

La surface supérieure des veines est généralement lisse et unie ; la surface inférieure est rugueuse et inégale. Il s'en sépare même de petits rameaux qui traversent irrégulièrement le sel gemme.

2° Groupe de la polyhalite et du sel magnésien. — A sa partie supérieure, le sel gemme de la première zone commence à se charger de plus en plus de chlorure de magnésium, substitué moléculairement au chlorure de sodium ; en même temps, le sel prend une saveur amère, une légère déli-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

quescence, un éclat gras, une transparence et une cristallinité moindres et l'on passe ainsi progressivement à la seconde zone, celle de la polyhalite, qui a environ 35 m. de puissance (hauteur verticale 60 m.).

Dans ce groupe, le sel gemme est mélangé de 0,5 p. 100 de chlorure de magnésium, qui le rend déliquescent et amer.

La polyhalite s'y présente, comme plus bas l'anhydrite, en petites couches ayant en moyenne 2,5 cm. à 3 cm. d'épaisseur, qui sont, comme celles d'anhydrite, très lisses à leur partie supérieure, rugueuses à la partie inférieure.

Cette *polyhalite* est un mélange des sulfates de calcium, magnésium et potassium, tenant 42,64 du premier, 19,76 du second, 27,90 du troisième. On a essayé de la traiter pour en retirer le sulfate de potassium. Malheureusement, même après pulvérisation, elle ne se dissout qu'avec une extrême lenteur et le sulfate de magnésium est toujours beaucoup plus abondant dans la solution que le sulfate de potassium.

3° Groupe de la kiesérite. — Cette zone a une constitution complexe. A la base, elle renferme encore un peu de sel magnésien. Puis, peu à peu, le magnésium se condense à l'état de sulfate hydraté dans la *kiesérite*. Enfin apparaît la carnallite, d'abord mélangée à la kiesérite, qui finit par prédominer dans la zone plus élevée. La puissance moyenne du groupe est de 25 m. représentant, vu l'inclinaison, une hauteur de 56 m.

A l'air, la kiesérite devient terne, entre en déliquescence et se transforme partiellement en *epsomite* plus hydratée.

Mise en présence de l'eau, la kiesérite commence par en absorber une grande quantité en se transformant en une masse solide ayant la consistance du ciment et en augmentant beaucoup de volume. Elle se dissout ensuite lentement.

La kiesérite se présente en couches de 2,5 cm. à 3 cm. d'épaisseur, mais s'élevant parfois jusqu'à 30 cm. ; elles alternent avec les couches de sel gemme, mais moins régulièrement que les couches d'anhydrite et de polyhalite dans les zones précédentes.

4° Groupe de la carnallite. — Zones accessoires de la kaïnite et de la sylvine. — Ce dernier groupe qui est le siège principal de l'exploitation, renferme un grand nombre de sels, principalement la carnallite, la kiesérite, la kaïnite, la stassfurtite, la sylvine, dont nous allons dire quelques mots.

La *carnallite* d'abord, qui en est l'élément caractéristique, est un chlorure double de potassium et de magnésium, tenant à l'état pur 27 p. 100 de chlorure de potassium et 35 de chlorure de magnésium, mais toujours mélangé en pratique de sel marin.

Mise en présence d'une quantité d'eau insuffisante, la carnallite se dédouble exactement en donnant les chlorures de potassium et de magnésium, et ce dernier seul se dissout.

Si l'on augmente la proportion d'eau et que l'on dissolve entièrement un échantillon de carnallite rouge, on obtient un résidu presque entièrement formé d'oxyde de fer, avec des grains de quartz roulés et un peu de rutile comme dans toutes les argiles.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Pure, elle est blanche et transparente. Pratiquement, sa couleur varie du jaune au rouge brique par suite des impuretés qu'elle renferme.

La carnallite forme, à la partie supérieure du gisement salin, des assises stratifiées d'une épaisseur variable, au maximum de 2 m. Elle alterne avec des bandes de sel gemme incolore et de kiesérite : ces dernières de quelques centimètres de puissance et diminuant d'épaisseur à mesure que l'on monte.

Les assises de carnallite sont elles-mêmes subdivisées en bancs présentant chacun une coloration uniforme, qui varie du gris bleuâtre (matières bitumineuses), au rose ou au rouge intense produits par l'oxyde de fer.

En même temps que la carnallite, on trouve, dans la zone supérieure, divers sels, pour la plupart dus à une altération superficielle, tels que la *kaïnite* (chlorure de potassium et sulfate de magnésium), dont l'importance industrielle est devenue très grande, et la *sylvine* (chlorure de potassium). La présence de la *stassfurtite* (sel double de borate de sodium et de chlorure de potassium) dans les parties hautes accuse une concentration intéressante des borates : on la rencontre, soit en petits cristaux épars, soit en masses concrétionnées ou rognons ayant fréquemment 0,25 m. de diamètre et pesant 10 à 12 kg.

Toit du gisement. — Le toit du gisement est formé, comme nous l'avons vu, d'argiles salifères, puis d'anhydrite et de gypse. Au-dessus, vient une puissante couche de sel gemme, elle-même surmontée d'argiles salifères, au-dessus desquelles vient, par places, une couche importante de glaubérite.

MODE DE FORMATION DU BASSIN DE STASSFURT

Pour expliquer la formation d'un gisement salin comme celui de Stassfurt, il n'est plus question, nous l'avons vu[1], de faire intervenir des actions internes, qui furent invoquées autrefois par d'éminents géologues[2], et tout le monde est aujourd'hui d'accord pour admettre une évaporation du bassin marin, dans certaines conditions spéciales, qui sont le seul point sur lequel on discute encore. Nous avons précédemment étudié cette question d'une façon générale, et il suffit d'appliquer au cas particulier de Stassfurt ce que nous avons dit alors.

Postérieurement aux plissements hercyniens, nous admettons qu'il y a eu, dans cette région de l'Allemagne : une première période de destruction caractérisée par le rothliegende ; puis, dans le Mansfeld, des accumulations de schistes bitumineux ; enfin, non seulement ici, mais loin vers le Nord, des concentrations lagunaires se rapportant à la fin de l'époque du zechstein et au trias. Pendant ces deux dernières périodes, il a dû, au long de la chaîne plissée, se constituer un grand nombre de lagunes fermées, de chotts ou de « Lobnors », correspondants à des affaissements orogéniques, qui se seront ensuite continués durant la période d'évaporation favorisée par un climat désertique. La succession, dans un ordre presque théorique, des zones inférieures de Stassfurt (sel gemme, polyhalite, kiesérite et carnallite), semble accuser un phénomène unique, poursuivi d'un bout à

[1] *Tome 1, pages 226 à 229.*

[2] Voir DE LAPPARENT. *Traité de géologie*, 1re édition, p. 769.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'autre dans des conditions sans cesse comparables, avec seulement des variations périodiques, dont résultent les alternances d'anhydrite, polyhalite, etc., constatées au milieu du sel gemme.

Mais, après le dépôt de la carnallite et par-dessus elle, on constate à Stassfurt des couches de gypse et sel récent, qui nécessitent une explication supplémentaire.

Ochsénius a supposé, à ce propos, dans la théorie des lagunes littorales, qu'après le dépôt du sel gemme, de l'anhydrite et de la polyhalite, le canal de communication, reliant, dans sa théorie, vers le Nord-Ouest, le bassin de Stassfurt à la mer, aurait été fermé par une cause quelconque. Si l'on suppose, au contraire, le bassin isolé dans un continent désertique, on peut imaginer une cessation des apports aqueux fluviatiles.

Quoi qu'il en soit, les eaux ont dû s'évaporer peu à peu en se concentrant dans les parties basses et, sous l'influence d'une température élevée, elles ont déposé la kiesérite, puis la carnallite.

Après le dépôt de celle-ci, les eaux sont restées chargées de chlorure de magnésium; mais les érosions de falaises ont rapidement recouvert la couche des sels potassiques d'un toit protecteur d'argile. Le chlorure de magnésium s'est infiltré dans l'ensemble de la masse, ainsi que ce qui restait de sel marin. De cette façon, on aurait la formation des argiles salifères de Douglas-Hall, présentant des phénomènes de pseudomorphose.

Plus tard, la mer aurait fait irruption de nouveau, ou les apports fluviatiles auraient recommencé pour créer les couches supérieures de gypse, d'anhydrite, de sel gemme et de glaubérite trouvées à Westregeln, à Neu-Stassfurt, etc...

Enfin, un mouvement de plissement a remplacé le synclinal ancien, dont nous avons supposé l'approfondissement, par l'anticlinal actuel, comme on le constate sur tant de géosynclinaux.

PRODUITS INDUSTRIELS DE STASSFURT. — ENGRAIS POTASSIQUES

Il est inutile d'étudier ici l'industrie chimique de Stassfurt, dont la description se trouve maintenant dans les traités de chimie. Pratiquement on extrait surtout le sel gemme, la carnallite ou kalisalz, la kainite, la kiésérite et la stassfurtite.

Le *sel gemme* est, suivant sa pureté, divisé en plusieurs catégories : sel gemme en blocs (Fördersalz), sel blanc moulu (Speise salz), sel commun moulu pour mine (Fabriksalz), sel de bétail moulu (Viehsalz), sel de bétail en blocs (Leckstein).

La *carnallite* est le grand minerai de Stassfurt; elle sert à produire le chlorure de potassium, le carbonate de potassium, les divers engrais potassiques, le nitrate de potassium, etc. En 1909, l'Allemagne a produit 625 000 t. de chlorure de potassium vendu sur la mine à 180 fr. la t. On en extrait de la *kiesérite artificielle,* qui sert pour la préparation des sulfates de magnésium, de potassium, de baryum (blanc fixe) et pour laquelle on garantit généralement une teneur de 55 p. 100 en sulfate de magnésium.

Les *résidus du triage,* renfermant 12 à 15 p. 100 de carnallite, se vendent à l'agriculture ou pour mélanges réfrigérants.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La *kaïnite* sert à l'agriculture comme engrais, par la potasse qu'elle contient : la potasse étant, avec le phosphore et l'azote, un des trois éléments essentiels de la nourriture des plantes. On garantit en général 24 p. 100 de sulfate de potassium. Son prix est de 3,50 fr. les 100 kg. à Stassfurt et 5,50 à Paris (1911). On en extrait du sulfate de potassium qui vaut 20 à 22 fr. les 100 kg.

La *kiesérite* contient en général 70 p. 100 de kiesérite pure, soit 55 à 60 p. 100 de sulfate de magnésium anhydre. L'extraction, très irrégulière, après être montée à 2 230 t. en 1901 et 6 605 t. en 1908, n'a été que de 538 t. en 1909.

Elle se vend à la mine 3.25 fr. les 100 kg., soit 6,25 fr. rendu à Paris. Le plus souvent, elle est livrée à l'état de mélange avec la carnallite.

La *stassfurite* fournit l'acide borique et le borax. Les 100 kg. valaient 125 fr. en 1890 ; ils sont tombés à 21 en 1910. La production, qui était montée à 232 t. en 1900, est redescendue à 114 en 1907.

Enfin on extrait du *brome* des eaux-mères.

Nous donnons, à titre d'indication, un tableau résumant la composition des principaux engrais de Stassfurt, il y a quelques années.

TABLEAU 5. — COMPOSITION DES ENGRAIS DE STASSFURT

DÉSIGNATION DES ENGRAIS	POTASSE GARANTIE	SULFATE de POTASSIUM	CHLORURE DE POTASSIUM	SULFATE de MAGNÉSIUM	SEL MARIN
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
1. Sulfate brut de potassium. . . .	9 à 12	8 à 12	6 à 11	15 à 20	35 à 55
2. Sulfate de magnésium et de potassium.	15 à 18	28 à 33	»	21 à 25	25 à 40
3. Kaïnite brute.	12 à 13	22 à 24	»	16 à 18	30 à 40
4. Grugite	10 à 12	18 à 21	»	10 à 12	10 à 12
5. Engrais potassique concentré. .	25	22	22	10 à 20	20 à 35
6. Engrais potassique 3 fois concentré	30 à 33	»	50 à 55	5 à 10	25 à 40
7. Engrais potassique 5 fois concentré	50 à 53	»	80 à 85	»	10 à 20
8. Sulfate de potassium n° 1. . . .	50 à 52	90 à 95	»	»	1 à 4
9. Sulfate de potassium n° 2. . . .	38	70	»	5 à 10	2 à 8
10. Sulfate de potassium et magnésium purifié	26 à 28	50 à 52	»	32 à 36	2 à 6
11. Sulfate de magnésium brut. . .	0,3	0 à 5	»	environ 60	»

La constitution de ces mélanges de sels de potassium et de magnésium appelle deux observations : la première est leur teneur assez forte en sel marin. Introduits dans le sol à la dose de 200 à 300 kgr., les sels de Stassfurt y amènent une quantité de sel marin qui ne peut présenter que des avantages, d'après les résultats de nombreuses expériences culturales, et notamment de celles du docteur Vœlcker en Angleterre. La seconde observation est relative au danger du chlorure de magnésium pour la végétation. Il a fallu, pour pouvoir utiliser les sels de Stassfurt comme fumure, détruire ce chlorure par la chaleur ou par une épuration chimique.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La production de Stassfurt a été :

TABLEAU 6. — PRODUCTION DE STASSFURT

1884			1909
344 798	tonnes	de sel gemme.	650 000 t.
203 040	—	de kaïnite.	3 181 600
979 597	—	de kalisalz (carnallite) donnant 112 950 tonnes de chlorure de potassium et autres sels potassiques.	3 860 000
12 388	—	de kiesérite.	538
159	—	de stassfurtite.	149

SELS DE POTASSE EN HAUTE-ALSACE[1]

La découverte de la potasse en Alsace date de 1904. Le premier puits qui ait rencontré la couche potassique a été foré en 1904, à Wittelsheim, au N.-W. de Mulhouse. Après avoir traversé la série potassique de 358 à 512 m., il a été poussé jusqu'à une profondeur de 1119 m. A la suite de son succès, on n'a pas foré autour de lui moins de 103 sondages, dont 17 ont recoupé le « kali » : les autres n'ayant été poussés que jusqu'à la couche de sel sodique superposée à celui-ci, ce qui suffisait pour l'obtention des concessions. On a alors commencé à Wittelsheim un puits de 600 m. de profondeur et 5,5 m. de diamètre, pour le compte de la Société, dite Amélie : puits qui a dû traverser, par le procédé de congélation, 75 m. de nappe aquifère.

Ces travaux montrent dès maintenant (fig. 162), l'extension du bassin potassique sur 200 kilomètres carrés entre Heimsbrunn, Sausheim, Ensisheim, Reguisheim, Ungersheim, Soultz, Cernay et Schweighausen. Au Nord et à l'Ouest, ce bassin est délimité par deux failles; au Sud et à l'Est, il semble disparaître lentement en s'amincissant en pointe. Géologiquement, ces sels sont compris dans le tertiaire oligocène inférieur, ce qui les différencie aussitôt du grand gisement permien de Stassfurt et les rapproche de celui de Kalusz. La coupe, ramenée à ses termes essentiels, comprend, de haut en bas, les terrains suivants :

	Nature des terrains.	Profondeur au-dessous de la surface.	Épaisseur.
	Marnes et grès calcaires oligocène moyen (stampien) . .	0 à 358 m.	358 m.
Oligocène inférieur, sannoisien.	Marnes salifères avec anhydrite et *kali*. . .	358 à 512 m.	154 m.
	Marnes schisteuses . .	512 à 620 m.	108 m.
	Seconde série d'argiles salifères avec sel gemme et gypse. . .	620 à 947 m.	327 m.
	Marnes schisteuses stériles	947 à 1119 m.	172 m.

[1] 1909, VOGT et MATH. MIEG. (Soc. Ind. de Mulhouse) et B. S. G. F. 3e, t. 18, p. 392-422; t. 20, p. 175-210. — 1909. FÖRSTER. *Vorl. Mit. üb. die Ergeb. der Unters. etc.* (Mitth. d. Comm. f. d. geol. Landesunters v. Els. Lothr, t. 7, p. 127-132. — 1909. L. DE LAUNAY. *Les sels de potasse en Haute-Alsace* (La Nature, 30 janv.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les terrains où on trouve le sel correspondent ainsi à ceux où nous avons rencontré le pétrole de Pechelbronn. Ce sont des dépôts saumâtres, également contemporains du gypse parisien (par-dessus lesquels sont revenus les dépôts franchement marins du stampien).

A partir de 358 m., on entre donc dans une série potassique et sodique, qui contient, d'abord, trois couches de sel gemme et d'anhydrite, dont deux couches de 0,80 m. d'épaisseur et la troisième de 2,75 m.

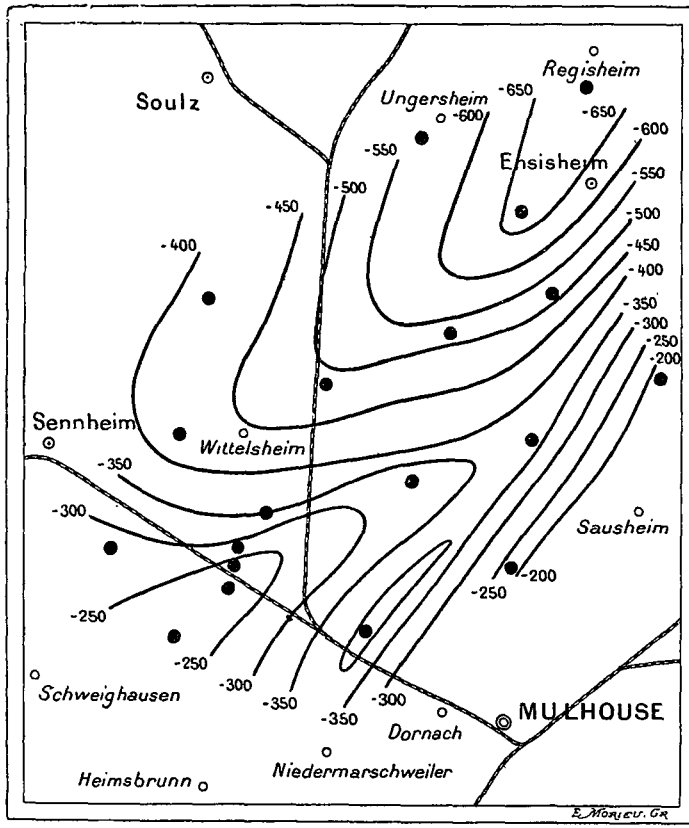


Fig. 162. — Carte des gîtes potassiques d'Alsace.

Les sels de potassium, rencontrés à 473 m. et 493 m., forment deux couches, l'une de 1 m., l'autre de 4 à 5 m., divisées toutes deux par de petites veinules d'argile schisteuse accusant un arrêt dans les conditions d'évaporation qui ont amené le dépôt de la potasse. Ces veinules ont été retrouvées d'une façon très constante dans les divers sondages. Puis viennent encore, en dessous, différentes couches de sel gemme et d'anhydrite, dont l'épaisseur varie entre 0,85 et 3,27 m. La seconde série salifère, épaisse de 327 m., renferme de nombreuses couches de sel gemme et d'anhydrite, dont l'épaisseur atteint 5 à 13 m. Enfin toute cette série salifère repose sur un conglomérat sidérolithique, d'âge probablement éocène. Si la cou-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

che potassique, qui semble assez homogène, gardait la même épaisseur sur les 200 km. carrés reconnus, on arriverait à un cube énorme, qu'il faut naturellement réduire beaucoup, mais qui indique l'importance de ce gisement nouveau.

Les sels que l'on y trouve diffèrent de ceux qui constituent la majeure partie du gite de Stassfurt par l'absence de sels de magnésium. Ce n'est pas de la carnallite, mais de la sylvinite (chlorure double de potassium et de sodium), substance stable et nullement hygroscopique, dont on trouve du reste un équivalent, la sylvine (ou chlorure de potassium), à Stassfurt, mais seulement dans les parties altérées par des réactions secondaires, sur les affleurements, où elle s'est produite par élimination du chlorure de magnésium qui la rendait d'abord instable.

Nous avons précédemment indiqué[1] la possibilité que des affaissements concomitants de l'évaporation soient, d'une façon générale, intervenus dans la formation des gîtes salins.

On a à Mulhouse une première preuve de ces affaissements, dans l'épaisseur tout à fait extraordinaire que prend ici le tertiaire, arrivant aussitôt, sur la bordure du massif cristallin et primaire des Vosges, à plus de 1 100 m. On en a une autre dans les mouvements, non seulement d'affaissement, mais de plissement, que le dépôt salin a continué à subir pendant et après son dépôt et qui lui donnent aujourd'hui une forme nettement plissée avec un grand synclinal et un anticlinal allongés dans le sens N.-E. Cette disposition, qui est pratiquement à noter pour les recherches futures, a pu facilement être observée dans les sondages, grâce à la présence, 30 m. au-dessous du kali, d'une couche de schistes aisée à reconnaître et très constante. Déjà ces mouvements se traduisent dans les couches de sel et d'anhydrite superposées au kali qu'ils rendent irrégulières; ils se sont accentués ensuite lors des phénomènes tectoniques qui ont augmenté la saillie des Vosges et déterminé le retrait de la mer tertiaire.

Des recherches ont été également commencées dans le duché de Bade, district de Staufen.

AUTRES GISEMENTS POTASSIQUES — KALUSZ[1]

En dehors de Stassfurt et de la Haute-Alsace, les gisements de sels potassiques exploitables semblent d'une grande rareté. On ne peut guère en citer qu'un ayant donné lieu à une petite exploitation peu fructueuse (606 t. de kaïnite en 1891), c'est celui de *Kalusz*, en Galicie.

[1] Tome 1, page 228.

[2] 1870. V. Hauer. *Ueber den Kainit von Kalusz in Galizien* (J. KK. geol. R., t. 20, p. 141 à 147). — 1872. *Exploitation d'un gisement de chlorure de potassium à Kalusz* (Galicie). (Cuyper, t. 31, p. 174). — 1874. Reinwarth. *Ueber den Stein und Kali Salz Bergbau bei Westregeln* (Stuttgart, N. S. M., p, 616). — 1893. C. Ochsenius. *Ungarischer Kalisalpeter* (Z. f. pr. G., p. 61). — 1893. J. Niedzwiedzki. *Das Salzgebirge von Kalusz.* — 1895. E. Tietze. *Kalisalze in Ost. Galizien* (Z. f. pr. G., p. 140). — Voir encore plus loin, page 146, note 2, quelques indications de sels potassiques dans l'Iode.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

CHAPITRE XXXI

SODIUM ET LITHIUM

SODIUM

Na = 23,00.

Usages. — L'industrie des sels de soude est très importante, et le carbonate de sodium tient, avec l'acide sulfurique, la première place dans l'industrie chimique[1]. Nous nous bornerons à citer :

Sodium métallique. — Autrefois employé pour la fabrication de l'aluminium, et aujourd'hui pour la préparation du peroxyde de sodium et de la soude caustique, du magnésium, du silicium (pour résistances électriques); pour certains produits organiques (comme réducteur); pour l'antipyrine et surtout pour les cyanures. On en produit par an 5 000 t. (Etats-Unis, France, Allemagne, Angleterre), dont 2 000 t. pour le cyanure et autant pour le peroxyde.

Soude caustique (NaOH, à 57,54 p. 100 Na). — Fabrication des savons durs et de l'esprit de savon; papeteries; mercerisage du coton; fabrication de produits organiques, tels que l'indigo, les couleurs d'aniline, l'acide oxalique, l'acide picrique; transformation de l'albumine en caséine et de la cellulose en viscose, pour papiers d'emballage et apprêts.

Bioxyde de sodium (Na^2O^2 à 59,03 p. 100 Na). — Agent de blanchiment, revivification de l'air vicié.

Chlorure de sodium (NaCl à 39,40 p. 100 Na). — Point de départ de presque tous les produits sodiques, en particulier du carbonate, du sulfate, de la soude par électrolyse, du chlore et de l'acide chlorhydrique. Vernissage des poteries; mégisserie; engrais; fusion des neiges; grillages chlorurants. Emploi important pour l'alimentation et les salaisons (voir plus loin).

Carbonate de sodium (soude du commerce) ($CO^3Na^2O,10H^2O$). — Remplacée souvent, dans l'usage domestique, par des « cristaux de soude » hydratés; surtout intermédiaire ordinaire pour la fabrication des divers sels de soude. Fabrication du verre; lessive; concentration du lait; fabrication de l'outremer, etc.

Le *bicarbonate* (CO^3NaH) remplace la levure pour la préparation du pain et des pâtisseries; fabrication des eaux gazeuses et des savons en poudre; conserves; extincteurs d'incendie; explosifs; dorure.

[1] Voir, notamment : Guillet. *L'industrie de la soude* (Encycl. Léauté, 180 p.). — 1901. Wagner, Fischer et Gaultier. *Chimie industrielle*, t. 1, p. 635 à 683, etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Sulfate de sodium (SO^4Na^2 à 32,43 p. 100 Na). — Intermédiaire pour la fabrication du carbonate par le procédé Leblanc; dégraissage des laines, pharmacie (sel de Glauber).

Sulfite de sodium ($SO^3Na^2.7H^2O$). — Employé comme antichlore pour enlever aux matières blanchies par le chlore leur odeur; sert dans la fabrication du sucre de betterave pour arrêter la fermentation des pulpes.

Hyposulfite de sodium ($S^2O^3Na^2,5H^2O$). — Photographie [1].

Azotate de sodium : fabrication du nitre (voir à l'*Azote*) [2].

Borate de sodium (borax) : soudure, céramique, conserves alimentaires (voir au *Bore*) [3].

On utilise encore l'acétate de sodium, l'acéto-tungstate (produit photographique), le benzoate de sodium (thérapeutique); les citrate, lactate, oxalate, succinate, tannate, valérianate, silicate (médecine, fixation des couleurs, imprégnation des murs), phosphate, plombate, stannate, tungstate, chromate et bichromate, etc.; les bromure et iodure (voir au brome et à l'iode).

Rôle géologique du sodium. — Le sodium est un élément très important dans la nature, non seulement par sa teneur relativement forte dans l'écorce terrestre (2,70 p. 100 en moyenne, ou 3.60 de soude) et par sa grande diffusion, mais aussi par l'influence qu'on peut lui attribuer dans beaucoup des opérations de la métallurgie interne (cristallisation des roches et des filons), ainsi que dans les remaniements superficiels, où le chlorure de sodium, présent dans toutes les eaux, a dû puissamment contribuer à bien des dissolutions lentes. Dans le premier ordre d'idées, nous avons déjà insisté sur la fréquence des concentrations minérales opérées sous l'influence des roches particulièrement sodiques, comme les granites à mica blanc, syénites néphéliniques, etc.

Un certain nombre de roches tiennent couramment, comme nous l'avons vu, 2 à 5 p. 100 de soude, et cette teneur s'accroît dans divers minéraux énumérés précédemment [4]. En ce qui concerne spécialement le chlorure de sodium, qui est le principal sel de sodium, on a pu dire que, partout où on l'avait cherché, on l'avait trouvé : notamment dans la plupart des roches et dans toutes les eaux; ce qui suffit pour expliquer sa présence abondante dans la mer, et pour faire supposer une salure croissante des eaux marines, sans même faire intervenir une concentration initiale de sodium dans ces eaux, qui reste néanmoins possible. Ce chlorure est ainsi devenu un élément indispensable à la vie de la cellule, qui paraît s'être organisée d'abord en milieu salin. On retrouve, dès lors, le sodium dans les plantes et dans toutes les parties du corps des animaux [5].

[1] Le sulfite de soude industriel vaut 0,30 fr. le kg; l'hyposulfite, 0,40 fr.

[2] Tome 1, p. 292 à 302.

[3] Tome 1, ch. 18.

[4] Tome 2, p. 100.

[5] On a longtemps extrait la soude des produits végétaux : *soude de varechs* ou *kelp* anglais; *soude de l'Araxe* en Russie méridionale : *Blanquette* ou soude d'Aigues Mortes; *Salicorne* ou soude de Narbonne; *Barille* ou soude d'Alicante; soude provenant des distilleries de betteraves, etc. Jusqu'à la découverte de Leblanc, en 1793, la France achetait chaque année à l'Espagne pour 20 à 30 millions de fr. de soude.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Minerais. — Une substance aussi abondante que le sodium ne saurait être exploitée que dans les conditions de gisements particulièrement économiques et faciles, fournies par la sédimentation. Le seul composé sodique que l'on puisse citer comme exception est la cryolite, à considérer plutôt comme un fluorure[1]. Mais cette remarque s'applique aux autres sels de soude : chlorure, carbonate, sulfate, azotate, borate, dont les deux derniers ont été étudiés déjà comme source d'azote ou de bore.

CHLORURE DE SODIUM[2]

Usages. — Nous avons déjà indiqué sommairement les usages du chlorure de sodium. Il convient de revenir sur ce corps si important.

Le sel est d'abord pratiquement, la base de toute l'industrie de la soude et le minerai d'où on tire les carbonates, sulfates, etc.

Ayant le chlorure de sodium, pour passer au carbonate, on a longtemps (procédé Leblanc) fait réagir l'acide sulfurique sur le sel, puis chauffé le sulfate obtenu avec de la craie et du charbon. Le procédé Solvay consiste à faire agir un courant d'acide carbonique sur une dissolution de sel marin saturée d'ammoniaque et à calciner le bicarbonate précipité. On emploie en outre, aujourd'hui, en faible proportion, l'électrolyse qui donne : d'un côté du chlore ; de l'autre, de la soude caustique et de l'hydrogène.

D'autre part, pour la nourriture de l'homme, le sel est d'autant plus indispensable que le climat est plus froid : depuis 3 kg par an en Egypte jusqu'à 12 kg en Scandinavie. Les impôts sur cette substance atteignent couramment 100 fr. et souvent plus pour une tonne de sel dont le prix peut varier de 6 à 30 fr. (6,50 fr., en France, pour le sel gemme brut, 17,27 fr. pour le sel marin brut, 32 fr. pour le sel gemme raffiné). D'où l'emploi légal de la « dénaturation » pour les sels industriels, qui ne doivent plus être susceptibles de retourner à l'alimentation et qu'on mélange en conséquence de diverses substances.

Commerce et statistique. — Le chlorure de sodium existe en telle abondance dans beaucoup de régions, soit à l'état de gisements géologiques, soit sur les côtes de la mer, qu'il forme relativement peu un objet de commerce international. Cependant, certains pays, comme l'Angleterre, sont de gros exportateurs de sel; d'autres, comme la Scandinavie, la Belgique, la Hollande, la Suisse, importent tout le sel nécessaire à leur consommation; et, dans l'intérieur de l'Asie ou de l'Afrique, le sel, apporté de très loin par caravanes, finit par atteindre une valeur considérable. Le tableau suivant donne les principaux producteurs de sel à quelques années de distance :

[1] Voir au tome 1, page 312, au chapitre du *fluor*.

[2] On peut consulter sur le sel l'importante monographie de VON BUSHMAN. *Das Salz* (Leipzig, 1909).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 7. — PRODUCTION MONDIALE DE SEL EN 1 000 TONNES
(SEL GEMME ET SEL MARIN)

ANNÉES	ÉTATS-UNIS	RUSSIE	ALLEMAGNE	GRANDE-BRETAGNE	INDE	FRANCE ET ALGÉRIE	ESPAGNE	ITALIE	JAPON	HONGRIE	AUTRICHE
1900 . .	2 651	1 768	1 514	1 873	1 021	1 106	450	367	669	189	330
1906 . .	3 578	1 730	1 870	1 996	1 176	1 357	542	497	484	201	378
1907 . .	3 773	1 873	1 950	2 038	1 212	1 246	605	505	—	395	356
1908 . .	3 742	1 879	1 998	1 873	1 390	1 124	822	513	—	—	388
1909 . .	3 823	2 255	2 018	1 851	1 275	1 130	800	464	—	—	359

Parmi les pays qui figurent à ce tableau, les *Etats-Unis*, pour une production de 3 823 000 t. de sel, ont une consommation de 3.900 000. Cette production, comptée en barils de 126,85 kg. (280 lb), est (1909) de 31 millions de barils, dont, en chiffres ronds, 10 viennent du Michigan, 9,7 de New-York (Onondaga, etc.), 3,6 de l'Ohio et de la Virginie (sources salées), 2,3 du Kansas, 1 de la Louisiane, 0,9 de Californie. Le baril a valu, en 1909 : 1,40 fr.

En *Grande-Bretagne*, nous décrirons les salines du Cheshire, avec exportation par Liverpool, et celles du Durham (mines de Newcastle). La Grande-Bretagne a exporté en 1909, près de 900 000 t. (27 000 de moins qu'en 1908), sur une production de 1 873 000 t. La production du sel gemme a été, en 1910, de 205 000 t.

En *Russie*, on a les mines de sel du Donetz, les lacs salés de la mer Noire, de la mer d'Azov, de la Crimée. Un quart de la production est fourni par le sel gemme de Donetz et du gouvernement de Perm (au total 525 000 t. en 1909). Le long de la mer Noire et de la Caspienne, il y a plus de 300 lagunes salées, dont la principale comme production est le lac Baskunchak.

En *Sibérie*, l'industrie du sel est florissante dans les 39 lagunes de Semipalatinsk groupées le long de l'Irtych (30 000 t. au lac Koryakow).

En *Allemagne*, le sel forme, dans le sous-sol, des dépôts énormes. On a extrait en 1909 : 1 369 800 t. de sel gemme, plus 648 751 t. de sel extrait de dissolutions.

Pour la *France*, la production se divise (1909) en : 709 000 t. pour les mines et sources salées, dont 371 000 sous la forme d'eaux saturées, directement employées à la fabrication de la soude; 404 000 pour les marais salants[1]. La presque totalité du sel gemme vient de Meurthe-et-Moselle (246 000 t., plus 371 000 en dissolution); le reste, du Jura, du Doubs et des Basses-Pyrénées. Les marais salants du Midi fournissent (1909) 332 000 t., contre 170 000 t. dans l'Ouest. Sur ce total, 159 000 tonnes ont été exportées, dont une grande partie emportée par les pêcheurs de Saint-Pierre, le reste à destination de la Belgique ou de la Suisse.

En France, la consommation du sel pour l'alimentation reste très exac-

[1] En 1907, les marais salants avaient atteint 513 000 t.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tement stationnaire. La consommation industrielle est insignifiante, en dehors de la fabrication du carbonate de sodium; et la vente du sel pour l'exportation se fait presque au prix de revient. Il en résulte que les installations destinées à produire le sel donnent à peine la moitié de ce qu'elles pourraient produire et ont été amenées, pour éviter la concurrence, à constituer un syndicat à production limitée, comprenant les quatre groupes de Meurthe-et-Moselle, des Salins du Midi, de l'Ouest et du Sud-Ouest, qui ont chacun leur rayon de vente. La production de l'Ouest, très inégale, peut varier dans les plus fortes proportions, suivant le régime des pluies, mais est, en moyenne, de 100 000 t. C'est le chiffre que lui achète ferme le syndicat de vente. Les salins du Midi, aujourd'hui admirablement installés avec des engins élévatoires électriques qui leur permettent de pallier les grèves annuelles des travailleurs italiens, arrivent à un prix de revient de 5 fr. Les mines de l'Est ne peuvent guère descendre au-dessous de 15 fr. Le prix de vente au détail est immuablement fixé à 200 fr., dont 100 fr. d'impôt : ce qui, en défalquant 15 fr. de transport, laisse une marge de 70 fr. à partager entre le producteur, l'acheteur en gros et l'épicier. Suivant la période, les producteurs arrivent à vendre 40 fr. quand il y a entente entre le Midi et l'Est, ou descendent à 15 et 20 fr. quand, avant le renouvellement des contrats, ils se font une guerre économique.

L'*Italie* a ses marais salants en Sardaigne et en Sicile. La production du sel y est monopolisée par l'Etat. Le prix de vente varie de 36,50 fr. la tonne, pour le sel commun à 77 fr. pour le sel raffiné.

Au *Japon*, il existe également un monopole du sel depuis 1904.

La *Hongrie*, possède les mines de sel de la Transylvanie.

GÉOLOGIE DU CHLORURE DE SODIUM[1]

Le chlorure de sodium, qui se trouve en si énormes quantités dans les mers, provient, au moins pour une très grande partie, de la dissolution des roches cristallines et du lessivage des sédiments formés par la destruction de ces roches. Mais, d'autre part, l'évaporation des eaux, douces[2], saumâtres ou marines, a laissé, dans les strates sédimentaires de tout âge, des gisements salins qui constituent aujourd'hui pour nous une source importante de sel.

Comme nous avons déjà eu l'occasion de le remarquer pour un certain nombre de formations en rapport, ainsi que celles-ci, avec des phénomènes continentaux, les dépôts salins ont pu se produire à toutes les époques, avec prédominance dans certaines phases spéciales déterminées par l'orogénie, notamment dans les trois périodes : siluro-dévonienne pour les zones calédoniennes; permo-triasique pour les zones hercyniennes; tertiaire et actuelle pour les zones alpestres. Mais il y a plus de chances pour qu'un gîte salin ait été conservé jusqu'à nous s'il est récent que s'il est ancien. C'est la principale raison pour laquelle, de ces

[1] 1847. Frapolli. *Faits qui peuvent servir à l'histoire des dépôts de sel* (B. S. G. F., 2e, t. 3, p. 832). — 1877. Ochsenius. *Die Bildung der Steinsalzlager*. — 1901. Ochsenius. *Salzwasser im Carbon* (Z. f. pr. G, p. 19). — 1901. Hunt. *The age of the earth and the Sodium of the Sea* (Geol. Mag., 125-128).

[2] Nous en verrons plus loin des exemples, pages 148 et 155.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

trois périodes, la première est moins riche en gisements salins que la seconde et la seconde que la troisième.

Les gisements d'évaporation saline nécessitent, nous l'avons vu[1] : d'une part une fosse sans écoulement, de l'autre un climat désertique, tel qu'il s'en produit de préférence à l'intérieur des continents. Ces deux conditions semblent avoir été tout particulièrement réalisées dans les zones continentales intermédiaires entre les régions plissées et les plates-formes plus anciennes, dont le rapprochement avait occasionné ces plissements, sur certains compartiments affaissés de la chaîne plissée et dans une période consécutive du plissement. Mieux on détermine l'âge des gisements salins et plus générale apparaît la loi qui porte à localiser les grandes formations salines dans la période de temps consécutive des plissements principaux, après la phase de destruction intense marquée par les grès et conglomérats. Contrairement à ce que nous remarquions précédemment pour les phosphates, dont les couches, en rapport avec des transgressions marines, sont généralement restées horizontales[2], un certain nombre de gisements salins, qui se sont trouvés faire partie de zones influencées par les mouvements ultérieurs, dans le sens de l'arrière-pays, ont été fortement plissés. Ils apparaissent, par suite, aujourd'hui sous la forme de pointements restreints, auxquels la plasticité spéciale des substances salines, rappelée dans un autre chapitre[3], prête une sorte d'apparence intrusive, où l'on a pu voir autrefois la trace d'un phénomène interne et éruptif. Le plus grand nombre des gisements salins semble néanmoins se rattacher aussi à des sortes de transgressions restées horizontales, portant sur des compartiments déprimés des plates-formes : compartiments ayant dû subir, pendant l'évaporation même du sel, un affaissement progressif. Ces notions seront précisées par la description qui va être donnée des principales zones salines envisagées dans l'ordre de leur âge géologique, et notamment par les conditions de formation très récentes ou actuelles, que nous examinerons en dernier lieu. L'ordre adopté sera le suivant :

1° **Sel siluro-dévonien.** — Sel silurien des Etats-Unis et du Canada. Sel dévonien de Sibérie et de Russie.

2° **Sel permo-triasique.** — Sel permien de Russie. Sel permien d'Allemagne (Stassfurt). Sel méso-triasique du Wurtemberg. Sel éo-triasique du Salzkammergut, du Doubs et du Jura, de la Lorraine, du Cheshire, du Durham et d'Irlande, des Pyrénées, de Cardona. Sel triasique d'Algérie. Sel permo-triasique du Sétchouan, du Yunnan, du Cambodge.

3° **Sel tertiaire.** — Europe occidentale. Région Carpathique (Wieliczka, Transylvanie, Roumanie), Perse, Inde, Texas, Californie.

4° **Sel des régions désertiques.** — Zone Aralo-Caspienne. Lycaonie Arménie et Perse, Turkestan russe, Asie centrale (Inde et Chine), Chotts Algériens, Lacs salés de l'Ouest Américain.

5° **Industrie des marais salants.**

Un certain nombre de ces déterminations d'âge sont discutables et hypo-

[1] Tome, 1, pages 226 à 229.

[2] Il existe, nous l'avons vu, des exceptions, notamment dans le Sud de la Tunisie.

[3] Tome 1, page 229.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

thétiques. Il ne faut pas oublier, en effet, la remarque déjà faite sur la plasticité des gisements salins, qui leur a permis de se mouler dans les plissements qu'ils ont subis et l'association ordinaire de marnes argileuse qui se sont prêtées mécaniquement à des concordances accidentelles. Les argiles salifères sont, en outre, très généralement pauvres en restes organisés.

1° SEL SILURO-DÉVONIEN

Sel silurien des États-Unis et du Canada[1]. — L'Amérique du Nord renferme d'assez abondants gisements de sel siluriens, dont nous nous sommes déjà trouvé parler incidemment à propos du pétrole[2] : corps si souvent en relation avec le sel, comme nous l'avons dit alors.

Le groupe salifère d'Onondaga, épais de 200 à 300 m., s'intercale dans le Gothlandien au-dessus des calcaires du Niagara, sous le calcaire hydraulique[3].

Sur les bords du lac Huron, on connaît, dans l'étage silurien d'Onondaga, d'épaisses couches de sel : jusqu'à 37,50 m. de sel en six couches à Goderich. Dans la région de Pétrolia et d'Oil Spring, le même étage renferme, outre le sel, des bancs de gypse, atteignant chacun 80 m. d'épaisseur. Certains amas de gypse semblent résulter d'une hydratation avec gonflement de l'anhydrite.

Une grande partie du sel produit aux Etats-Unis vient de sources salées ou de sondages ayant pour origine des niveaux salifères siluriens ou dévoniens en rapport possible avec la transgression des terrains primaires sur la plateforme canadienne.

Sel dévonien de Sibérie et de Russie. — Une zone salifère dévonienne, à laquelle est associé du pétrole, a déjà été signalée dans la région du Timan (bassin de l'Ouchta)[4]. On la retrouve dans toute la plateforme sibérienne d'Irkoutsk avec des conditions tectoniques tout à fait analogues à celles que l'on observe pour le groupe d'Onondaga silurien sur la plateforme canadienne : dépôts continentaux et lagunaires transgressifs sur une plateforme consolidée.

2° SEL PERMO-TRIASIQUE

La période permo-triasique est remarquablement riche en gisements salins dans toutes les régions qui ont été influencées par les plissements

[1] 1863 Sterry Hunt. *The Goderich Salt region* (Geol. Sur. of Canada, p. 221). — 1877. Poszepny (K. K. Ak des Wissen, t. 26). — Voir, à ce propos, pour le sel aux États-Unis : 1888. Hay. *Recent discoveries of rocksalt in Kansas* (Proc. Am. Ass. Adv. of Sc. Salem). — 1889. E.-H.-S. Bailey. *On the newly discovered Saltbeds in the Ellsworth County, Kansas* (Tr. 20th and 21th ann. meet. Kansas Ac. of Sc., t. 11, p. 8. Topeka. — 1890. J.-S. Newberry. *The rock salt deposits of the Salina group in Western New York* (Tr. New-York Academy of Sciences, t. 9, p. 29). — 1899. *Rock Salt in Louisiana* (Am. Inst. of M. E. California meet. 12 p.).

[2] Tome 1, page 503.

[3] Ces gisements ont été interprétés par Dana et de Lapparent comme dus à un métamorphisme.

[4] Tome 1, page 515. Cf *Rich. min. de l'Asie*, p. 411.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

hercyniens. Partout on retrouve là un ordre de succession analogue des dépôts : d'abord des formations détritiques, où se concentre la houille ; puis des remaniements également détritiques, mais à caractère continental et désertique souvent plus accusé par la prédominance des teintes rubéfiées ; enfin, lorsque les plissements précédents semblent aplanis en grande partie, sur certaines zones d'affaissement longitudinales, concentrations salines. Ces dépôts de sel ne sont pas toujours du même âge le long d'une même chaîne, et des conditions analogues ont pu, dans des périodes variables suivant les points, y déterminer des phénomènes semblables. Il faut ajouter que, parmi ces gisements permo-triasiques, un certain nombre se sont trouvés plus tard dans la zone réinfluencée par les plis tertiaires et ont pris alors les apparences intrusives précédemment signalées.

Pour l'Europe, par laquelle nous commencerons, on peut dresser le tableau chronologique suivant :

Trias.	Juvavien (19)	Keuper moyen (Gyps-Keuper), — Lorraine — Cheshire — Pyrénées.
	Tyrolien (19)	Keuper inférieur (Letten-Kohle) — Tyrol — Salzkammergut — Franche-Comté.
	Dinarien (18)	Muschelkalk — Wurttemberg.
	Werfénien (17)	Grès bigarré — Haute-Saône.
Permien.	Thuringien (16)	Zechstein supérieur — Stassfurt — Allemagne du Nord.
		Zechstein — Russie (gouvernement de Perm).

En moyenne, il semble en résulter une sorte de mouvement dans le sens de l'Est vers l'Ouest faisant que les principales zones salines sont d'autant plus récentes qu'elles sont plus occidentales.

En Afrique septentrionale, la formation gypso-saline du trias affleure également en une foule de points de l'Algérie et du Maroc et il semble qu'elle reparaisse dans l'Angola portugaise.

En Asie orientale, nous retrouverons un groupe très développé de formations salines appartenant aux divers étages du permien et du trias qui affectent pour la plupart un caractère trangressif, dans le Se-tchouan, le Yunnan, le Cambodge, etc.

Sel permien de Russie[1]. — Le bassin salifère du *Donetz* se trouve aux environs de la ville de Backmout.

Les deux gisements les plus importants sont dans le gouvernement de Charkow près de la ville de Slavansk, à 40 km. de Backmout et dans celui de Iékaterinoslav.

Le sel gemme y est associé à du gypse et à de l'anhydrite et subordonné à des argiles gris-jaunâtres et à des marnes argileuses qui appartiennent au permien inférieur.

Le sel a ordinairement l'aspect d'une masse blanche granulaire ; assez

[1] *Aperçu des richesses de la Russie en 1878*, p. 35. — 1888. Gruner. *Mémoire sur l'industrie du sel dans le Donetz* (inédit). — 1897. Th. Tschernyschew et L. Loutouguin. *Le bassin du Donetz*. 16e excursion du Congrès géologique international. — 1909. J. Ott. von Buschman. *Das Salz*. I. 1. Europa. (Leipzig).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

souvent, on rencontre de grands nids de sel tout à fait translucides avec de nombreuses cavités contenant de l'eau mère.

Les couches s'inclinent vers l'Ouest et la couche productive s'amincit dans cette direction.

La présence de sources salines était connue depuis longtemps. En 1871, Skaramanga et C^ie^ essayèrent d'extraire directement le sel au moyen d'un forage. L'industrie du sel a pris, depuis lors, un grand développement et est devenue une des premières industries du bassin de Donetz.

La production en tonnes a été :

	1894	1895	1896	1897	1898
Charkow.	43 512	43 994	48 095	54 335	61 498
Iékaterinoslav . . .	276 875	283 198	312 650	334 188	372 774

La Russie contient, en outre, dans l'Est, notamment dans le gouvernement de Perm, à la frontière de l'Asie et de l'Europe, et à peu près à la latitude de Saint-Pétersbourg, d'importants gisements de sel situés dans le Zechstein.

Dans le gouvernement de Vologda, des salines ont été exploitées près de la ville de *Thotma*, au confluent de la Kavda et de la Soukhona.

A 35 km plus au Sud, se trouvent la saline de *Ledengsk* et, le long de la rivière Vym, celle de *Seregovsk* atteinte par un sondage de 200 m.

Dans le gouvernement de Perm, les principaux sièges d'exploitation se trouvent le long de la Kama (district de *Solikamsk*).

On peut citer : les salines de *Deduckhine* (sondage de 205 m.); de *Lenvensk* et *Novoousolié;* d'*Ousolié* (sondages de 150 à 200 m. traversant 42 m. de sel en 11 couches); de *Solikamsk* même (sondages de 80 m.); enfin, de *Beresnine*.

En résumé, il y a, dans cette région, au moins 60 mines de sel, dont l'origine remonte souvent au XV^e^ siècle et qui produisent, par an, plus de 200 000 t de sel. La production totale de sel en Russie atteint, nous l'avons vu plus haut, 2 200 000 t. par an; mais elle est fournie, pour la plus grande partie, par les lagunes salées de la dépression aralocaspienne.

Sel permien d'Allemagne (Stassfurt, etc.). — Nous nous contentons de mentionner ici pour mémoire l'importante formation salifère allemande, située au sommet du Zechstein, dont il a déjà été question à propos de Stassfurt[1]. Cette formation, remarquablement développée, se poursuit jusqu'à Wesel en Westphalie, où l'on a trouvé, à 500 m. de profondeur, du gypse et du sel[2].

En 1909, sur 1 369 800 de sel gemme obtenues, il en est venu 398 000 t. de la Saxe et 363 000 t. de l'Anhalt (bassin de Stassfurt), puis 417 500 t. du Wurttemberg, 90 000 t. du Hanovre, 74 000 du Braunschweig, etc. Le sel en dissolution a été fourni : pour 111 000 t. par la Saxe, 161 000 t. par le Hanovre, 63 000 t. par l'Alsace-Lorraine, 51 000 t. par le Wurttemberg, 44 000 t. par la Bavière, etc.

[1] Voir plus haut, tome 2, page 102.

[2] 1897. Kloos. *Salzgebirg in der Umgegend von Hannover* (Vers. d. Ges. deuts. Naturf. Braunchweig). — 1900. Thürach. *Ueber die mögliche Verbreitung von Steinsalzlagern im Nördl. Bayern* (Geogn. Jahresheft., p. 107-148; Z. f. pr. G., 1901, p. 265 à 274).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Sel méso-triasique du Wurttemberg[1]. — L'étage méso-triasique, dans l'Europe Occidentale, s'intercale, sous forme de calcaires marins, entre les formations détritiques à gros éléments de l'infra-triasique et les argiles salifères de l'éo-triasique. Il est, par suite, pauvre en sel. Cependant, dans le bassin du Neckar, on a reconnu le sel sur 20 à 30 m. d'épaisseur en trois points (Neckar supérieur, Kocher et Neckar inférieur, avec Heilbronn et Friedrichshall). Ce sel est accompagné d'acide carbonique en proportions notables.

Des théories diverses ont été émises à ce sujet. Suivant Endriss, là où le sel est peu épais ou manque, il aurait été enlevé par une dissolution postérieure qui aurait, en même temps, transformé l'anhydrite en gypse. L'hypothèse plus vraisemblable de Reis est que ce gisement, intercalé sur une grande étendue entre deux formations marines, n'a subi aucune modification postérieure notable : ce qui le désigne pour une étude de détail.

La plus ancienne exploitation, celle de Wilhelmglück, se poursuit environ depuis 1830. D'autres se trouvent à Friedrichshall, Kochendorf, Heilbronn, etc.

Sel méso-triasique du Salzkammergut[2]. — Les dépôts du Salzkammergut et des régions voisines sont situés aux confins de la Styrie, du pays de Salzbourg et de la Bavière ; les principales mines sont celles de *Hallein, Ischl, Hall, Hallstadt, Berchtesgaden*, etc.

Tous ces gisements se trouvent dans le keuper inférieur, équivalent des couches de Saint-Cassian.

Si l'on examine, sur une carte d'ensemble, la géologie de cette région, on observe la disposition suivante :

Du Nord au Sud, s'allongent une série de zones parallèles de terrains éocène, crétacé, jurassique, triasique, avec quelques affleurements de permien et de silurien, terrains adossés à la grande chaîne granitique des Tauern et des Alpes tyroliennes, de l'autre côté de laquelle, en redescendant le Brenner, on retrouve le trias de Saint-Cassian. La bande triasique du Nord, qui forme sur la carte plusieurs zones allon-

[1] 1896. Engel. *Geogn. Wegweiser durch Wurttemberg*, 2e éd., p. 60-63. — 1898. Endriss. *Die Steinsalzformation im mittleren Muschelkalk*. Wurttemberg (1 vol. 106 p. et 5 pl.). — 1899. Reis. *Das Salzlager des mittleren Muschelkalks am Neckar* (Z. f. pr. G., p. 153 à 167 avec carte). — 1899. Iwan. *Steinsalzbergbau in Heilbronn* (Oest. Z. f. B. u. H., t. 47, p. 133 à 136 et 149 à 151). — 1899. Branco. *Das Salzlager bei Kochendorf am Neckar* (Jahr. des Ver. f. vaterl. Naturk. im Wurttemberg, 101 p.). — 1901. Reis. *Der mittlere und untere Muschelk. im Bereich der Steinsalzbohr. zw. Burgbernheim u. Schweinfurt* (Geogn. Jahresb., 23-127, Munchen). — 1902. Reis. *Die Tiefbohrungen auf Steinsalz in Baden in Vergleich mit denen in Franken* (Z. f. pr. G., p. 187 à 190).

[2] Coll. Ecole des Mines, 1800 (Berchtesgaden) ; 2876 (Hallstadt). — Gisement visité en 1883. — Voir : 1862. Keller. *Sur l'exploitation de l'argile salifère et le traitement du sel dans le Salzkammergut* (Ann. des M., 6e, t. 2, p. 1). — 1864. Léo Gérard. *Expl. du sel dans les Alpes de Salzbourg* (Cuyper, t. 15, p. 473). — 1864. Althans. *Salines de Hallein et Hallstadt* (Cuyper, t. 15, p. 404). — 1866. Hauer et V. Horinck. *Salinen Betrieb zu Hallein und Hall* (du point de vue chimique). (B. u. H. Z., 1866, p. 269). — 1879. Mojsisovics. *Die Dolomit riffe von Sud Tyrol* (Jahr. der KK. geol. R., t. 19, p. 91). — 1881-82. Labat. *Observations sur les mines de sel gemme et sur les eaux salées du pays de Salzburg* (B. S. G. F., 3e série, t. 10, p. 265).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gées (Est-Ouest) apparaissant au milieu du jurassique, est celle où se trouvent les gisements de sel.

Nous rappellerons la coupe classique du trias alpin :

TABLEAU 8. — TERRAINS SALIFÈRES DU TRIAS ALPIN

ETAGES	FRANCONIE	RÉGION ALPINE
Marnes irisées Juvavien (19)	Gyps Keuper.	Calcaire de Hallstadt et dolomie principale. Couches de Raibl.
Muschelkalk Tyrolien (18)	Lettenkhole de Franconie.	Dolomie du Schlern. *Niveau salifère du Salzkammergut* Couches de Saint-Cassian.
Virglorien (18)	Calc. de Friedrichshall. Groupe de l'anhydrite et du sel. Wellenkalk.	Couches de Wengen. Calcaire de Virgloria et dolomie de Mendola.
Grès bigarré Werfénien ou Scythien (17)	Röth. Grès bigarré.	Couches de Werfen. Grès de Gröden.

L'étage méso-triasique, dans lequel se trouvent les gisements que nous étudions en ce moment, commence, dans la bande au Sud des Alpes, par les couches de Saint-Cassian composées de tufs de porphyre augitique avec marnes contenant, à la Seisser-Alp, une curieuse association d'ammonites et de productus. Au-dessus, viennent les fameuses dolomies du Schlern. Sur le flanc Nord, l'étage, très différent de facies, commence par la formation salifère, à laquelle succèdent les marbres de Hallstadt rouges, roses, blancs, bariolés, etc.

Tous ces gisements de sel ont des formes extrêmement variées attribuables aux actions mécaniques qu'ils ont subies, et dans lesquelles le sel, qui a une résistance énorme à la cassure, s'est, en quelque sorte, laminé. A Hallein et à Aussee, le sel forme une vaste lentille qui, à Aussee, repose presque directement sur le grès bigarré. A Hallstadt, l'amas est à peu près vertical, etc.

Le sel est toujours impur, mélangé à des argiles salifères, souvent coloré en rouge ou en noir. On y trouve des veines de gypse, d'anhydrite, fréquemment de polyhalite, de glaubérite, etc.

La partie exploitée du gîte contient : à Ischl, 50 à 55 p. 100 de sel ; à Hallstadt, 70 à 75 p. 100 de sel ; à Aussee, 80 à 90 p. 100 de sel.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

L'*exploitation*, qui remonte au moins au VIII^e^ siècle, se fait par chambres de dissolution, où l'on fait arriver de l'eau qu'on évacue une fois saturée. Quand la chambre est vide, on y rentre, et, tous les piliers s'étant dissous, on ne trouve plus que des amas irréguliers d'argile grise souvent tapissés de cristaux de gypse. On abat alors le plafond, qui est rongé sur 60 cm. environ, on bouche et on fait revenir l'eau.

L'extraction du Salzkammergut est de 60 000 t.

Le prix de revient, fort élevé, du sel dans le Salzkammergut s'établit approximativement comme suit, par tonne de sel :

$3^{m3},6$ de dissolution à 1 fr. 58 = ...	5,70
Evaporation	26,65
Transports divers	1,78
Total	34,13

le prix de vente étant de 128 francs, impôt compris.

Sel du Doubs et du Jura[1]. — Le Doubs a produit, en 1909, 21 600 t. de sel raffiné avec les deux salines de Miserey et Châtillon. Dans le Jura, les quatre salines de Montmorot, Salins, Arc et Grozon, produisent également environ 26 000 t. par an (15 000 pour Montmorot). L'exploitation a lieu par sondages et dissolution.

Le niveau salifère semble un peu inférieur à celui que nous rencontrerons en Lorraine, et comparable à celui du Salzkammergut et de Bavière.

Au-dessous du sinémurien à gryphées arquées, l'infralias est représenté par des marnes schisteuses noires, grises ou jaunes, sur 23 m. Puis le keuper comprend 18 m. de marnes irisées, 8 m. de calcaire dolomitique, 23 mètres de marnes rouges avec gypse blanc, 10 m. de dolomie grise compacte, 15 m. d'alternances de marnes gréseuses avec lits de houille (niveau de Gouhenans), 40 m. de marnes irisées gypseuses, et l'on arrive au sel à une profondeur variable, qui a été de 200 m. environ à Pouilley-les-Vignes, 177 m. à Miserey, etc...

Dans cette région, les terrains ont subi un plissement important de direction N.-E.-S.-W., prolongement de celui du Jura, qui a fait apparaître les marnes irisées ou, tout au moins, le calcaire à gryphées au-dessus, suivant un certain nombre de bandes allongées parallèles, plus ou moins disloquées par des failles.

Les sondages se sont placés, tantôt sur des anticlinaux, tantôt sur des synclinaux de ce terrain plissé. D'une façon générale, on peut dire que les sondages situés sur des synclinaux (comme celui de Miserey) ont donné des résultats plus favorables que les autres. En effet, aux anticlinaux, il est souvent arrivé que le sel ait été complètement emporté antérieurement par les eaux souterraines et, dans tous les cas, comme on dissout sur place, on a à craindre des éboulements plus fréquents obstruant les sondages ; au contraire, au fond des synclinaux, les eaux se rassemblent, apportant le sel qu'elles ont parfois recueilli à de grandes distances, et l'on se trouve dans des conditions aussi rapprochées que

[1] Gisements visités en 1889.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

possible de celles d'une nappe d'eau salée naturelle, toujours plus constante et plus limpide.

Sel de la Lorraine [1]. — En Lorraine, la coupe du keuper (néotriasique), est la suivante de haut en bas :

9. Marnes bariolées de couleurs vives, parfois imprégnées de gypse, avec banc caractéristique de dolomie jaunâtre ou rosée.
8. Dolomie moyenne, indiquée comme horizon géognostique par E. de Beaumont.
7. Marnes bariolées.
6. Grès de Lorraine, grès fin micacé avec roseaux (grès de Stuttgart et d'Heilbronn), belle pierre de construction.
5. Marnes versicolores avec gypse et sel; *niveau du sel* de Dieuze et de Nancy.
4. Assise dolomitique riche en poissons et sauriens (Lettenkohle).
3. Couches charbonneuses (Gouhenans); accidentellement lentilles de gypse sans sel gemme.
2. Banc de dolomie inférieure, poreuse et caverneuse.
1. Muschelkalk, avec niveau de sel du Wurttemberg trouvé en 1832 par un forage à Lunéville.

Les concessions de mines de sel de Meurthe-et-Moselle sont échelonnées au Sud-Est de Nancy, dans les vallées de la Meurthe et du Sanon, depuis Nancy jusqu'à Rosières-aux-Salines et Einville-au-Jard. Le sel s'y présente sous forme de lentilles plus ou moins aplaties, peu inclinées et séparées par des bancs d'argile gypseuse et salée. Le groupe salifère comprend deux faisceaux de couches séparés par un intervalle argileux de 30 à 40 m. d'épaisseur, et dont le plus élevé est seul exploité, le second n'ayant été atteint qu'en trois points par des travaux d'exploitation, à Varangéville, Dombasle et Gellenoncourt.

Le faisceau supérieur, que nous étudierons seul, a une importance considérable. Au puits de la mine de Saint-Nicolas, où il est bien développé, il comprend 11 couches de sel offrant ensemble une épaisseur de 63,70 m., répartie sur une hauteur totale de 87,36 m. ; la couche inférieure seule a 21 m. de puissance.

Chacune des couches de sel gemme est formée d'une succession de bancs superposés peu épais, de quelques centimètres de hauteur, réguliers et bien distincts, quoique souvent soudés entre eux et se différenciant par de légères variations de teinte. Le sel qui les compose est un agrégat de cristaux cubiques enchevêtrés en tous sens, dont les dimensions dépassent parfois un centimètre ; il est translucide et de couleur

[1] 1829. Dupré (dir. de la Saline de Moyenvic). *Mém. sur les antiquités de Marsal et de Moyenvic.* — 1833. J. Levallois. *Sur les trav. exéc. dans le dep. de la Meurthe pour rech. et expl. du sel* (Ann. d. M. 3e sér., t. 4, p. 37. — 1865. Mine de sel et salines de Saint-Nicolas. (*Cuyper*, t. 18, p. 375). — 17 juin 1867. Levallois. *Sur le Keuper de la Lorraine et de la Souabe* (B. S. G. F., 2e, t. 24, p. 741). — 1868. Jacquot. *Descr. géol. de la Moselle.* — 1888. Cousin. *Richesses minérales du département de Meurthe-et-Moselle.*

[2] Nous empruntons cette description à un mémoire de Cousin sur l'industrie minérale en Meurthe-et-Moselle.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

grisâtre et présente une cassure irrégulière et lamelleuse[1]. A la base des couches, les cristaux peuvent devenir beaucoup plus petits et donner un sel à texture grenue ou fibreuse.

On trouve habituellement, dans le sel gemme, une certaine quantité d'argile grise disséminée ; elle se présente en outre, dans les couches, en minces veinules horizontales régulières, séparant les bancs, et en veines verticales d'épaisseur et de direction très variables, généralement évasées vers le haut, et souvent accompagnées de nodules de sel en gros cristaux blancs et limpides. Le réseau formé par ces veines ressemble à celui des fissures d'une masse boueuse desséchée. Outre l'argile, le sel contient un peu d'anhydrite.

Les couches, au lieu d'être plissées comme dans le Jura, sont très régulières et leur pente est généralement faible et comprise entre 1 et 4 cm par mètre ; elles affectent des formes lenticulaires et ne s'étendent pas toutes sur la même surface, de sorte que leur nombre et leur épaisseur sont variables ; la plus étendue et la plus épaisse paraît être la couche inférieure, qui occupe le onzième rang à Varangéville et qui a 21 m.

Malgré l'importance des exploitations, on ne connaît d'ailleurs encore de la formation salifère qu'une bande relativement étroite entre Nancy et Einville. On a pu cependant constater une diminution rapide de la puissance des couches vers le Sud-Est et l'Est. Vers le Nord au contraire, il est très probable que le gisement de Nancy va se relier à ceux de Dieuze et de Vic.

Ce gisement n'a pas d'affleurement ; le sel a été rencontré dans des sondages dont la profondeur varie de 40 à 240 m.

Le tableau 9 peut donner une idée de la variation du nombre et de l'épaisseur des couches.

TABLEAU 9. — COUCHES DE SEL DU TRIAS LORRAIN

LOCALITÉS	NOMBRE des couches.	ÉPAISSEUR de la couche inférieure.	ÉPAISSEUR totale du sel.	ÉPAISSEUR des bancs stériles intermédiaires.
Varangéville. Mine Saint-Nicolas.	11	21m,00	63,70	23,66
Einville. Puits Saint-Laurent. . .	4	5,33	18,93	3,45
Gellenoncourt. Sondage de recherche	9	14,35	41,15	28,40
Flainval. Sondage n° 14 de la concession	3	6,30	13,00	14,75

A Varangéville, les 11 couches de sel sont réparties sur une hauteur totale de 87,36 m.

Le gypse forme en outre, une série d'amas plus nombreux et plus petits

[1] Elie de Beaumont attachait une grande importance à l'absence du chlorure de magnésium, de l'iode et du brome qui, pour lui, établiraient une différence avec les dépôts d'évaporation marine.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que ceux du sel gemme, ayant chacun la forme d'un gros tubercule et peut-être attribuables à une hydratation de l'anhydrite.

Les *concessions* sont, du Sud-Ouest à l'Est, les suivantes :

Sainte-Valdrée, les Aulnois, Pont-de-Saint-Phlin et la Madeleine à Laneuveville ; Art-sur-Meurthe ; Saint-Nicolas et Rosières à Varangéville, Dombasle, Portieux, Flainval, Crévic, Sommerviller, Maixe, la Sablonnière et Saint-Laurent à Einville.

L'*exploitation* se fait, soit par carrières souterraines de sel de gemme à piliers abandonnés sur les trois concessions de Rosières, Saint-Nicolas et Saint-Laurent, soit par dissolution dans les autres.

Dans certains cas, les sondages rencontrent des nappes d'eau salée naturelles, qui donnent une production beaucoup plus régulière et plus constante que la dissolution d'une masse de sel par de l'eau descendue du dessus. Ce sont quelques-unes de ces nappes qui alimentaient les sources salées exploitées autrefois dans la région.

L'eau salée des sondages en exploitation normale marque 21 à 25° 1/2 Beaumé, et contient 240 à 320 kg de sel par mètre cube, cette dernière teneur correspondant à la saturation. Une fois extraite, elle est employée à la fabrication du sel raffiné et du carbonate de soude dans 14 salines et 3 soudières (Dombasle, la Madeleine, la Meurthe), occupant plus de 2 000 ouvriers et toutes situées sur le canal de la Marne au Rhin, sauf celles de Dombasle et de Rosières.

La production est la suivante :

TABLEAU 10. — PRODUCTION DU SEL LORRAIN

ANNÉES	SEL GEMME	SEL RAFFINÉ	CARBONATE DE SOUDE
1887 .	91 000 tonnes.	136 000 tonnes.	77 000 tonnes.
1907 .	133 600 —	150 000 —	226 000 —
1909 ,	111 000 —	135 600 —	235 000 — Provenant de 371 000 t. de sel en dissolution.

Sel du Cheshire[1]. — Lorsqu'on examine une carte géologique de l'Angleterre (fig. 163), on voit aussitôt que ce pays est divisé en deux parties bien tranchées, séparées par une ligne à peu près droite qui, de Sidmouth à l'Est du Devon, par Bristol et Nottingham, passe à York et aboutit à l'Est de Newcastle. A l'Ouest de cette ligne droite sont les roches primitives, les terrains anciens, le houiller, le trias et le permien ; à l'Est, tous les terrains récents disposés d'abord par bandes successives à peu près NE-SW, le lias, le jurassique, le crétacé, le tertiaire, etc.

Entre ces deux zones, le trias s'allonge en bordure Est le long des terrains anciens et comprend, dans le Keuper supérieur, deux grands gisements de sel gemme : au Nord celui du *Durham*, qui a été l'origine des immenses usines de produits chimiques de Newcastle ; au Sud, le

[1] 1889. EMILIO DAMOUR. *Rapport manuscrit*, résumé dans FUCHS et DE LAUNAY, t. 1, p. 487 à 496.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

bassin beaucoup plus important du *Cheshire*. Celui-ci doit surtout sa prospérité à la proximité de Liverpool et est le grenier du sel du monde entier, les navires déchargés à Liverpool pouvant transporter à très bas prix le sel qui leur sert de lest pour retourner en Amérique, en Australie et dans toutes les colonies anglaises[1].

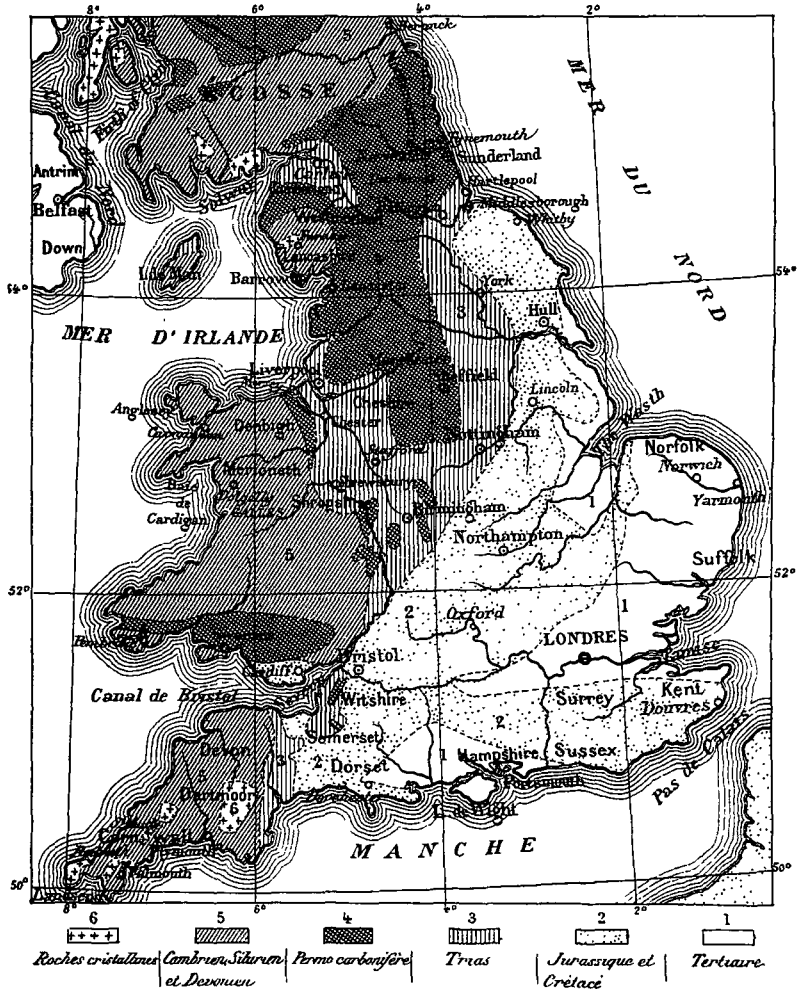


Fig. 163. — Carte géologique d'Angleterre au 1/6 000 000e.

Constitution géologique. — La formation triasique, qui couvre le comté de Cheshire et qui déborde sur les comtés voisins du Lancashire, au Nord, du Shropshire et du Staffordshire au Sud, constitue un vaste bassin, ou, plus exactement, une cuvette limitée de toutes parts par des terrains plus

[1] Il existe un troisième gisement en Irlande, près de Belfast (mine de Carrickfergus) dont nous dirons quelques mots, page 131.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

anciens, carbonifère, permien ou dévonien, le plus souvent en discordance. Les assises triasiques ont un plongement très marqué de la périphérie vers le centre, d'où il résulte que la formation doit avoir à sa partie centrale une puissance énorme, dont on peut se faire une idée par le fait que les sondages n'ont jamais dépassé les marnes keupériennes. Le caractère particulier de ce gisement salifère est qu'il existe, dans l'épaisseur de la formation, une nappe d'eau salée naturelle, qu'il suffit d'atteindre par des sondages et de pomper.

Généralement, sous une quinzaine de mètres de glaciaire, on trouve des marnes de couleurs variées, brun, brun rougeâtre, blanc bleuâtre, etc., avec deux grands lits de sel (top-bed et bottom-bed), ayant chacun une puissance assez constante de 26 m. Au-dessous viennent les *Waterstones*, ou marnes irisées moyennes, composées de lits bien stratifiés de grès argileux et de marnes schisteuses pénétrant dans le grès. On y rencontre encore 4 ou 5 lits de sel variant de quelques centimètres à 2,10 m. de puissance. La puissance minima de cette assise est de 45 m. Enfin l'on arrive aux grès dits *Basement beds*, qui fournissent de très bonnes pierres de construction (muschelkalk) et au *Bunter* (grès bigarré).

Chacune des deux puissantes assises de sel qui forment l'objet d'une exploitation régulière est surmontée d'une couche de marnes dures qui ont une très grande importance au point de vue des résultats obtenus. Celles qui surmontent le lit de sel inférieur, *bottom-bed*, servent à asseoir sur une fondation solide les cuvelages des mines de sel. Celles qui surmontent le lit supérieur ou *top-bed*, appelées elles-mêmes les *flags*, ont un rôle plus important encore, le même que les argiles du Gault dans le bassin parisien : par suite de leur imperméabilité et de leur résistance qui les empêche de se fissurer, elles forment un plafond étanche, au-dessous duquel existe une puissante nappe d'eau qui, maintenue entre les flags et la couche de sel, dissout lentement cette dernière, au point d'arriver au centre du bassin complètement saturée (27 p. 100) de chlorure de sodium.

La nappe d'eau circule, soit dans des canaux qu'elle s'est creusée dans le banc de sel dont le toit a la forme d'une surface ondulée, soit à travers un lit de sable et gravier très perméable (*horse beans*), qu'on ne saurait comparer qu'aux sables verts du bassin parisien.

Comme dans le bassin parisien, c'est par les affleurements que les eaux de surface peuvent pénétrer sous les marnes. Ces affleurements sont marqués par une rangée de lacs, dont on attribue la formation à la dissolution du sel gemme.

Au centre du bassin, l'eau salée se trouve sous forte pression, et, dans les parties basses du Cheshire, notamment dans la vallée de la Weaver, son niveau piésométrique est plus élevé que la surface topographique : d'où résulte que, là où les flags présentent des fissures, il s'est formé des sources salées, et que, lorsque l'on perce les flags, la saumure est jaillissante, ou du moins l'était avant que le grand nombre des forages eût fait baisser la charge des eaux.

Les sources d'eau salée (*wiches*, d'où la terminaison en wich de nombre de villes du Cheshire) ont été utilisées de toute antiquité ; aujourd'hui elles sont taries ou insuffisantes pour alimenter une usine ; mais la nappe

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'eau salée est de plus en plus exploitée et fournit la presque totalité du sel du Cheshire.

Les *ressources présumées* des gîtes précédents sont très grandes. La couche de sel s'étend sur une superficie de 32 km. sur 24 km., soit 768 km². La puissance moyenne étant de 45 m., le gîte est considéré comme représentant un volume de 34 milliards de mètres cubes, et un poids d'environ 80 milliards de tonnes. Il est vrai que 25 m seulement sont exploitables ; car le niveau topographique du Cheshire n'étant pas supérieur à 25 m. au-dessus de la mer, on ne pourrait dissoudre la totalité du gîte sans submerger le district sous les eaux de l'océan ; mais, même en tenant compte de cette restriction, on admet qu'il reste environ 40 milliards de tonnes.

L'*exploitation par mines* ne représente que le dixième de l'extraction totale. Le sel ainsi extrait est destiné à l'agriculture et à certains usages industriels : produits chimiques, métallurgie pour les grillages chlorurants, etc. L'*exptoitation par saturation* consiste uniquement à forer des puits atteignant l'eau saturée.

Sel du Durham. — Autrefois, on produisait une assez forte proportion de sel, près de Newcastle, à l'embouchure de la Tyne par évaporation de l'eau de la mer. Cette industrie, qui occupait environ 200 poêles il y a deux siècles, a graduellement disparu devant les progrès des mines du Cheshire et d'Irlande. Cependant, on continue à employer l'eau de la mer pour dissoudre les blocs de sel provenant des mines voisines et il existe plusieurs fabriques de produits chimiques. Environ 90 000 à 100 000 t. de sel sont encore traitées par 30 000 t. d'acide sulfurique pour donner 100 à 110 000 t. de sulfate de sodium.

Depuis 1864, on a, en outre, découvert, au Sud de la Tyne, des gisements de sel importants, qui font l'objet d'une exploitation suivie[1]. Au-dessus du sel, se trouvent plusieurs couches de gypse, de grès rouge et d'argile bleuâtre avec un peu de calcaire.

Sel d'Irlande[2]. — On exploite le sel en Irlande dans la partie supérieure du keuper depuis plus d'un siècle auprès de *Carrickfergus*. La production est d'environ 100 000 t. L'exploitation se fait souterrainement par piliers et galeries.

Sel des Pyrénées[3]. — Il existe le long des Pyrénées, notamment dans l'Ouest de la chaîne, toute une série de gisements salins et gypseux d'âge triasique affectant généralement la forme de pointements anticlinaux lenticulaires, associés à des masses bariolées et souvent à des ophites. On les exploite notamment à Salies de Bearn, aux environs de Biarritz, etc.

[1] Voir la coupe des terrains dans DAVIES, p. 77.

[2] DAVIES, p. 79, donne, sur ces mines, des renseignements historiques et une coupe.

[3] LARTET. *Sur les gisements salifères des Petites-Pyrénées de la Haute-Garonne et de l'Ariège* (Mém. de l'Acad. des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse, 8e série, t. 5, p. 260).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

En 1907, les Basses Pyrénées ont fourni 24 000 t. de sel raffiné et les Landes 5 000 t.

Sel de Cardona (près Barcelone)[1]. — Nous rattachons hypothétiquement au trias, comme les gîtes de sel pyrénéens français, un certain nombre de gisements salins situés sur le versant espagnol, en Catalogne, notamment à Cardona, puis, 35 km. plus loin, à l'Ouest, à *Villanova de la Aguda* (province de Lérida), ou encore à 10 km. Sud de Cardona, à *Suria*. L'âge de ces gisements, qui se présentent en dômes anticlinaux plissés sous l'oligocène, a donné lieu à beaucoup de discussions et on les a le plus souvent considérés comme éocènes. Il semble bien cependant qu'il n'y ait aucun rapport entre l'intensité des plissements internes manifestés par l'intérieur de la masse saline et les ondulations plus faibles du couvercle oligocène, qui a été remis mécaniquement en concordance approximative avec elle. Nous aurons, du reste, à signaler en Espagne d'autres gisements salins tertiaires miocènes[2].

Le gisement le plus important de la Catalogne est celui de *Cardona*, à 86 km. N.-W. de Barcelone, sur le Cardonero, affluent du Llobregat.

Le pays se compose d'un plateau assez élevé que coupe la vallée du Cardonero. Sur les deux rives et particulièrement auprès de Cardona, il existe, sous les grès et marnes oligocènes, des rochers de sel gemme, si bien qu'on a pu dire que la ville était bâtie sur le sel. Toute la partie supérieure, qui forme la « montagne du sel rouge », présente des contournements extraordinaires de veines plissées. Au voisinage, la dissolution du sel a laissé des trous ou excavations superficiels, dits Boffias.

La partie exploitée a 150 m. de haut et 4 km. de circonférence à la base. L'extraction se fait à ciel ouvert par tranchées horizontales. On estimait, il y a quelques années, la valeur du sel extrait à un million de francs par an.

Sel d'Algérie. — Le type du trias gypso-salin, que nous venons de rencontrer dans les Pyrénées, se retrouve sur toute la longueur de l'Algérie avec des dispositions anormales, telles que le pli couché triasique à racine verticale intercalé dans le sénonien du Dj. Chettaba. On peut citer, de l'Ouest à l'Est, le Chabet-ed-Djira, Ain Tellout, le Khang el Melah (vers Laghouat, etc.). Le mouvement orogénique qui a affecté ces couches paraît dater du suessonien inférieur.

Le rocher de sel fameux, du *Khang* (ou Rhang) *el-Melah* (Djebel Sahari), a des escarpements atteignant 35 m. de hauteur[3].

[1] 1854. De Verneuil et Lorière. *Sur les mines de sel du centre de l'Espagne* (B. S. G, F., 2e, t. 11, p. 675). — 1868. *Mines de sel gemme de Cardona* (Bull. Ann. d. M., 6e série, t. 20, p. 664). — 1881. Duboul. *La mine de sel gemme de Cardona* (Haute-Catalogne). (Bull. Soc. hisp.-port., t. 2, n° 1). — 1882. Dieulafait. (Rev. Sc., 8 juillet, p. 34). — 1898. Vidal, Carez, etc. *Gisement de sel de Cardona* (Réun. Soc. géol. à Barcelone. B. S. G. F., t. 26, p. 725 avec 2 pl. phot.).

[2] Voir p. 136. — A cette occasion, nous pouvons citer, dans le Sud de l'Espagne, les salines de San-Fernando donnant 200.000 t. de sel, surtout exportées en Amérique, et celles de Fuente-Piedra en donnant 300.000 t.

[3] 1903. L. De Launay. *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 238 à 246 et bibl. p. 238. Voir, en outre: 1894. M. Bertrand. *Sur l'origine de certains gypses du trias algérien* (B.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La forme du Khang el-Melah, qui a été décrite par Ville, est très bizarre. On peut se le représenter comme un cône raviné et éventré par des ravins (fig. 164 à 166). Au centre d'une plaine d'alluvions, surgit un massif crétacé, entouré par du miocène en stratification discordante. C'est au centre de cet affleurement crétacé que se trouve le pointement de sel. Les coupes de Ville montrent une série de récifs de sel ruiniformes, surmontés souvent d'un lambeau d'argile et demeurés debout par un phénomène analogue à celui des Erd Pyramiden. Des fragments de marnes crétacées se sont trouvés englobés dans le sel. En outre, les circulations d'eaux souterraines ont creusé de grandes cavités tapissées de stalactites de sel. Des sources salées sortent du rocher.

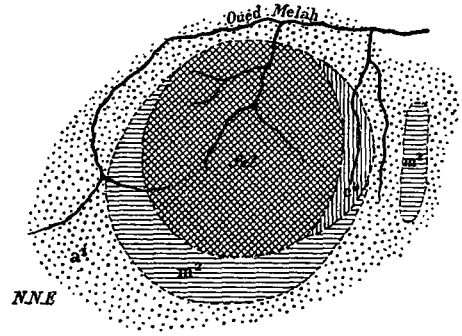


Fig. 164. — Carte géologique du Khang-el-Melah.

Au Sud, un autre gisement semblable se nomme l'*Aïn-Hadjura*.

Le sel de ces affleurements est très pur et présente des masses considérables. Suivant Ville (qui considérait ces gisements comme mio-



Fig. 165. — Coupe du Khang-el-Melah.

cènes), le seul cubage des dépôts apportés par l'Oued-Melah dans des bassins sans issue ne donnerait pas moins de 250 millions de tonnes.

De même, 200 km. plus à l'Ouest, près de Biskra, la montagne de sel d'*El-Outaïa* (un peu au Nord de Biskra, sur la ligne de Constantine), forme une masse puissante de gypse et de sel gemme, au milieu de

S. G. F., p. XXX, 19 février 1894) et 1896 (B. S. G. F., t. 24, p. 790 et 1183). — 1896. *Compte rendu de la réunion de la Société géologique en Algérie* (B. S. G. F., t. 24, p. 1072, 1075, 1183). — 1896. GENTIL. *Sur quelques gisements ophitiques de l'Algérie* (B. S. G. F., t. 24, p. 296 a 298 et C. R. Ac. Sc., 26 avril et 4 mai 1896). — 1897. BLAYAC et GENTIL. *Le trias dans la région de Souk-Ahras* (Algérie). (B S. G. F., t. 25, p. 523-548, avec carte géologique au 1 : 400.000). — 1897. GENTIL. *Sur les roches de quelques gisements ophitiques d'Algérie* (B. S. G. F., t. 25, p. 666 à 668). — 1897. BLAYAC. *Les chotts des Hauts Plateaux de l'Est Constantinois. Origine de leur salure* (B. S. G. F., t. 25, p. 907 à 913). — 1898. GENTIL. *Sur l'existence du trias gypseux dans la province d'Oran* (Algérie) (B. S. G. F., t 26, p. 457 à 471 avec carte géologique au 1 : 200.000). — 1899. E. FICHEUR. *Le massif du Chettaba et les îlots triasiques de la région de Constantine* (B. S. G. F., t. 27, p. 85 à 114, avec carte géologique au 1 : 75.000). — 1899. G. FABRE. *Sur un dôme triasique dans les environs de Relizane* (Oran). (B. S. G. F. t. 27, p. 323). — Coll. Ecole des Mines, 1341, 1342, 1686, 1875, 1876, 2468.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

laquelle apparaissent, de place en place, des débris ou des paquets de couches stratifiées, disloqués, dont les calcaires sont plus ou moins modifiés et imprégnés de cristaux de quartz et de gypse. Autour de cette

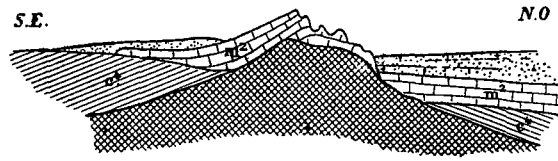


Fig. 166. — Coupe de l'Ain Hadjura (à 36 kilomètres au S.-W. du Khang-el-Melah).
a^1, alluvions; m^2, miocène; c^1, cémentation; sel (représenté par des hachures croisées).

masse, les calcaires sénoniens se montrent fortement relevés. C'est encore là, très probablement, d'après Ficheur et Blayac, un affleurement du trias.

Sel du Sé-tchouan[1]. — Le grand bassin rouge du Sé-tchouan contient de très nombreux gisements salifères, en rapport avec les formations rouges infra-jurassiques qui recouvrent ici en discordance les terrains carbonifères plissés.

L'un des plus anciennement réputés est celui de *Tsé-liou-tsin* ou *Tsouliou-tcheng* (Puits de l'eau coulante) à 110 km. au Nord de Soui-fou sur le Yang-tsé-kiang et environ 100 km. au N.-W. de Lou-tchéou sur le même fleuve, où ses produits descendent facilement par un affluent, le Fou-song. Là d'anciennes descriptions nous montrent, sur plus de 10 km. de large, le sol perforé de trous percés à des centaines de mètres de profondeur, avec des sondages à la corde ayant atteint 1 000 m. Richthofen, vers 1880, parlait de 1 200 puits donnant par an 80 000 t. à 120 000 t. de sel.

D'après la mission lyonnaise, le Sé-tchouan possède trois grands districts salins qui alimentent les provinces avoisinantes: *Tsé-liou-tsin*, dont nous venons de parler ; *Kia-ting* à 100 km Ouest du précédent ; enfin la région Nord entre la rivière qui passe à *Mien-tchéou* et celle de *Paoning*. Ces salines sont exploitées sous le contrôle du gouvernement provincial. A *Tsé-liou-tsin* et *Kong-tsin*, on exploite, par sondages et dissolution, une superficie de 160 km^2. Généralement, on rencontre le sel vers 450 à 720 m. Quand on a atteint la nappe d'eau salée, celle-ci jaillit rarement. Le plus souvent, il faut pomper avec un tube de bambou à soupape.

En même temps que le sel, on trouve souvent du pétrole, ou un peu de gaz combustible. Le pétrole forme une sorte de nappe au-dessus de l'eau salée, dont on le sépare par une décantation sommaire. Les gaz combustibles sont souvent plus bas vers 7 à 800 m. de profondeur. Le puits le plus profond qui en ait fourni (en 1896) avait 1 000 m.

[1] Imbert. *Annales de la propagation de la foi*, 1828, 1830. — *Mission Lyonnaise*, p. 304, 396, etc. — L. De Launay. *Asie*, p. 356 et 413.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Sel du Yunnan[1]. — Une autre grande région salifère de la Chine Sud-occidentale, moins importante que celle du Sé-Tchouan, est, à l'Ouest du Yunnan, la zone mésozoïque comprise entre les zones primaires de Yunnan-sen, Toung-tchouan et de Ta-li à Li-kiang, dans ce que A. Leclère a appelé le synclinal de Ma-chang.

En partant du Nord dans l'angle NW. du Yunnan, près du fleuve Bleu, la région d'*Youn-pé* contient, sous des calcaires probablement liasiques, des argiles triasiques, sur lesquelles sourdent, à I-tcha, des eaux minérales alcalines, utilisées par évaporation pour la fabrication du carbonate de soude.

Plus à l'Ouest, la région comprise entre Li-kiang et Ta-li, ou, plus exactement *Kien-tchouan*, contient également un niveau salifère et gypsifère intercalé dans le trias. La coupe présente ici, au-dessus des gneiss granitoïdes, micaschistes, etc., avec cipolins et amphibolites, du calcaire à productus permien supérieur, sur lequel repose à son tour une transgression triasique. La production du sel peut monter à un millier de tonnes.

Toute la zone triasique, située à l'Ouest d'Yunnan-sen, est également salifère. On exploite déjà du sel près du fleuve Bleu. Au Sud, la région d'*Hetsin* (99°50′ ; 25°30′) et *Lang-tsin* y présente un horizon important de cargneules salifères, inclinées à environ 10° vers l'Ouest sous 300 m. de couches bariolées. Les exploitations principales se font à He-tsin, à l'Ouest de Yunnan-sen, par puits verticaux descendant jusqu'à 100 m. On en retire l'eau salée au moyen d'un treuil et on l'évapore.

La production totale des salines du Yunnan est aujourd'hui de 35 000 t.

Sel du Cambodge et du Laos[2]. — Un horizon géologique, à peu près du même âge que celui dans lequel nous venons de trouver les gîtes salifères chinois, couvre également de grandes zones de l'Indo-Chine, sous la forme de strates horizontales grèseuses bariolées discordantes sur leur soubassement plissé.

Au Cambodge et au Laos, les grès triasiques fournissent, en divers points, des sources ou des efflorescences salées utilisées par les indigènes. Les gisements du Laos sont situés au voisinage du fleuve Mekhong. Du Mékhong vers Korat au Siam, puis à l'Ouest du Cambodge, les mêmes conditions se présentent de tous côtés. Les indigènes se contentent de forer de petits puits ou même de recueillir les efflorescences naturelles. Il est possible que, par des sondages, on trouve un jour en profondeur des dépôts d'une extension plus intéressante.

3° SEL TERTIAIRE — CARPATHES, PERSE, INDE, etc.

Nous allons pouvoir suivre, sur toute la longueur des plissements alpestres, de l'Ouest à l'Est, une série de formations salines oligocènes ou miocènes, qui présentent une remarquable continuité depuis l'Europe

[1] L. De Launay. *Asie*, p. 358 et 414.
[2] L. De Launay. *Asie*, p. 415.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

centrale jusqu'à la Perse et à l'Inde. Nous retrouverons ensuite des formations du même âge en Amérique, notamment dans le Texas et la Louisiane. A peu près partout, les mêmes zones, qui sont salifères, se trouvent être, en même temps, si l'on se borne à envisager le phénomène dans ses grandes lignes, des zones pétrolifères. Il y a là tout au moins un rapprochement dont nous avons déjà eu à tenir compte en étudiant le pétrole. Nous envisagerons ensuite des gisements salins appartenant à la période pléistocène, ou encore aujourd'hui en voie de formation, qui sont de nature à nous éclairer sur la genèse des gisements analogues, mais plus anciens.

Europe occidentale. — En commençant par l'*Espagne*, nous avons rattaché au trias le groupe des formations salifères de Cardona. Mais il n'en existe pas moins, également, dans une région voisine, des gîtes de sel miocènes. Un beau type de formation semblable se trouve à *Remolinos*, province de Saragosse, en couches horizontales intercalées dans des argiles miocènes. Nous aurons à revenir sur quelques-uns de ces gisements où, au lieu du sel gemme, se sont déposés des sulfates sodiques ou calcosodiques[1].

Dans l'intérieur de la *France*, la phase d'évaporation tertiaire s'est bornée à des dépôts gypseux, tels que ceux du Lutétien (44) de Paris. Mais, quand on se rapproche des zones influencées par les plis alpestres, on trouve, dans la fosse du Rhin en Haute-Alsace, un beau dépôt de sel appartenant à l'oligocène inférieur (46), où l'évaporation a été poussée juqu'à la formation des sels potassiques et que nous avons en conséquence étudié dans un chapitre précédent[2].

Sur les rameaux divergents des Alpes, nous pouvons également citer à cette place la formation gypso-solfifère italienne d'âge pontien (53), que l'on trouve, en *Toscane* comme en *Sicile*, avec gypse, marnes salées et pétroles[3].

RÉGION CARPATHIQUE

Nous arrivons aux gisements de sel miocènes, répartis en Europe sur le pourtour des Carpathes, en Galicie, Transylvanie et Roumanie. C'est là surtout que l'on peut voir l'unité tectonique de ces dépôts et leur rapport constant, sur de très grandes étendues, avec les mêmes mouvements généraux des mers[4].

La première phase de la Méditerranée, phase miocène comprenant les faluns de Léognan, les formations marines inférieures de la vallée du Rhône, la mollasse marine de Suisse et de Bavière, les calcaires à Clypeastres de Catalogne, des Baléares, de Sardaigne, de Corse, etc. (aquita-

[1] Page 159.

[2] Tome 2, p. 111.

[3] Voir 1846. De Cussy. *Sur le sel marin en Sicile* (B. S. G. F., 2e, t. 4, p. 255). — 1853. Giordino. *Sur le sel de Regalbuto près Girgenti* (B. S. G. F., 2e, t. 10, p. 94). — 1853. Villanova. *Sur l'âge du gisement de sel en Sicile* (B. S. G. F., 2e, t. 30, p. 82). — Coll. Ec. d. M., 1740. sel de Pampinello.

[4] L. De Launay. *La Science géologique*, p. 528 : Cf. *Asie*, p. 29.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nien, 48, et burdigalien, 49) avait eu une grande extension. Elle s'était étendue de Madère à la Perse en baignant par le Sud les grands horts européens, le Plateau Central et la Bohême. La mer burdigalienne (49), arrivant jusqu'aux environs de Vienne, en marque la dernière étape.

A la fin de cette période caractérisée par des dépôts variés d'argile, de sables et de calcaires, la mer, qui s'était ainsi développée sur des surfaces considérables, sous une épaisseur assez faible, subit un mouvement de recul, et, sur le continent émergé où s'établit sans doute un climat désertique, de vastes lagunes, peu à peu approfondies, commencent de tous côtés à s'évaporer.

C'est l'époque très remarquable qu'on appelle le *Schlier* (intermédiaire entre le burdigalien, 49 et l'helvétien, 50). A ce moment, des Carpathes à la Lycie et à la Perse, se dépose de tous côtés une argile toujours semblable, d'un gris bleu, un peu micacée, peu plastique, une mollasse marine contenant de nombreuses lentilles de sel et même, en certains points comme à Kalusz, des sels alcalins prouvant une évaporation déjà très avancée. Les sels de Wieliczka, Bochnia, Torda, Maros Ujvar, ceux de Roumanie, ceux de Perse et de l'Inde, sont de cette époque, ainsi que le gypse d'Arménie.

Quand cette période est terminée, sur la partie supérieure du Schlier saturée de gypse, apparaissent enfin, en Basse-Autriche, des plantes terrestres. Puis reviennent des sables, précurseurs tantôt d'une nouvelle faune marine, tantôt d'une faune saumâtre qui caractérise l'époque Caspienne.

Nous allons décrire successivement, de l'Ouest à l'Est, les principaux de ces gisements.

Sel de Galicie (Wieliczka)[1]. — La bande de terrain, dirigée Est-Ouest, qui renferme les gîtes de sel de Wieliczka et de Bochnia, fait partie du versant Nord des Carpathes (fig. 167).

Le gisement de Wieliczka a été reconnu sur une longueur de 3 400 m. ; sa largeur atteint, par places, 3 800 m. ; les exploitations, commencées depuis plusieurs siècles, ont dépassé 300 m. de profondeur.

Ce gisement se compose de deux parties distinctes, différentes d'allure et de constitution. La partie inférieure est formée d'un ensemble relativement régulier de couches. La partie supérieure est une argile, dans laquelle sont répandus des blocs, parfois énormes, d'un sel qu'on appelle le sel vert ou grünsalz.

Les coupes ci-jointes (fig. 168 et 169) montrent la disposition du gisement : la première dans son ensemble, la seconde un peu plus en détail.

[1] Gisement visité en 1892. — 1850. UNGER. *Die Pflanzenreste von Wieliczka* (Denk. der K. Ak. W.). — 1867. REUSS. *Die fossile Fauna von Wieliczka* (Sitz. d. K. Ak. W., t. 55. — 1877. GRAD. *Mines de Wieliczka* (Soc. d'hist. nat. de Colmar, p. 259). — 1884. JULIAN NIEDZWIEDZKI. *Ueber die Salzformation von Wieliczka und Bochnia* (Lemberg, 1884 avec plusieurs annexes). — 1887. C. M. PAUL. *Zur Wieliczka Frage* (J. der KK. geol. R., t. 37, p. 109). — 1892. NIEDZWIEDZKI. *Zur Geologie von Wieliczka* (Lemberg 18 p.). — 1892. MIALOVICH. *Tiefbohrung n° 3 in Norden der Salina Wieliczka* (Oest. Z. f. B. u. H., p. 129, 143 et 199, 9 pages et 1 pl.), — 1896. WINDAKIEWICZ. *Das Steinsalzbergwerk in Wieliczka* (40 p. et 4 pl.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

A. Formation inférieure. — La formation inférieure présente un ensemble de couches assez bien stratifiées, dont la puissance reconnue maxima est de 150 m.

On y trouve de nombreux débris de fossiles marins et quelques représentants de végétaux terrestres montrant qu'elle appartient au *Schlier*,

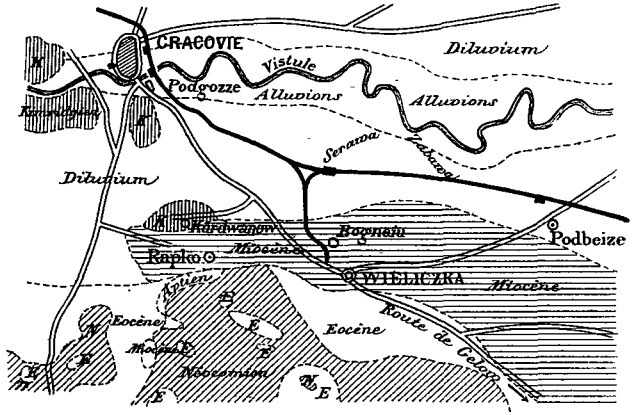


Fig. 167. — Carte géologique de la région de Wieliczka.

étage méditerranéen inférieur du bassin de Vienne, dont nous venons de rappeler l'histoire [1].

Au point de vue de l'exploitation, cette formation comprend trois groupes de couches exploitables atteignant jusqu'à 20 m. d'épaisseur

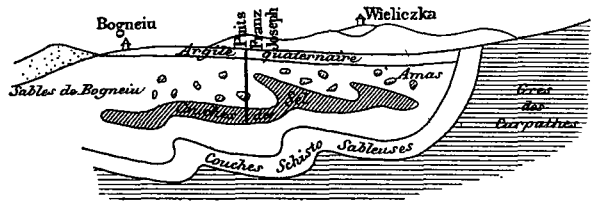


Fig. 168. — Coupe verticale d'ensemble du gîte de Wieliczka.

et qu'on cesse d'utiliser lorsque l'épaisseur descend au-dessous de 1,10 m.

Les couches, qui ont participé aux plissements carpathiques, sont inclinées de l'Est à l'Ouest ; leur pendage va, en quelques endroits, jusqu'à 45°. Dans le sens Nord-Sud, elles sont légèrement pliées en forme de voûte.

Les traces de phénomènes mécaniques, contemporains du dépôt ou postérieurs, y sont très nombreuses. A l'époque du dépôt, on doit peut-être rattacher des veines de dessiccation dans l'argile, ultérieurement remplies de sel secondaire et d'anhydrite (fig. 170) ; mais, en outre, on voit

[1] Page 137.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de nombreux plissements et contournements locaux, des failles rejetant les bancs d'anhydrite et remplies par du sel, etc. (fig. 171). Enfin, les blocs isolés de la formation supérieure sont des lambeaux disloqués de couches d'abord continues.

Le gisement est généralement encaissé dans l'argile, rarement dans le grès.

Le sel gemme lui-même se présente sous trois formes :

1° *Szybikersalz*. — C'est du sel cristallisé à gros éléments, grisâtre, tenant 99 p. 100 de sel pur, le reste de gypse.

2° *Spizasalz*. — Formé de l'agglomération de grains fins ; tient souvent beaucoup d'impuretés, particulièrement de sable.

3° *Sel vert* (grünsalz). — Cristallisé en éléments de 2 à 5 cm., gris

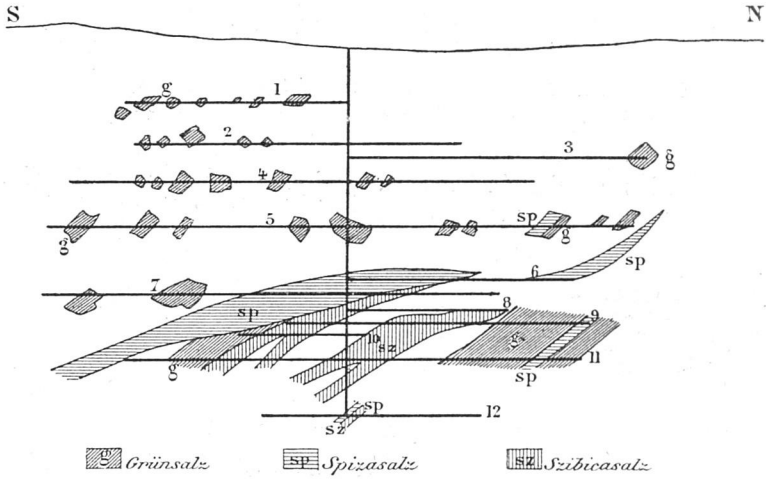


Fig. 169. — Coupe verticale théorique du gîte de Wieliczka par le puits Josefi. Echelle au 1/5760e.

verdâtre, contient beaucoup d'inclusions. Les couches de sel vert sont toujours déposées entre les couches de szybikersalz et de spizasalz. Le sel vert constitue de plus les blocs de la formation supérieure.

On exploite le szybikersalz seul pour l'usage alimentaire ; le spizasalz sert pour les industries chimiques, et on n'extrait que les parties les plus pures du sel vert.

Le sel pur forme un cinquième de la formation inférieure, l'anhydrite un vingtième ; le gypse est en très faible proportion.

B. Formation supérieure. — L'ensemble de cette formation ne montre aucune trace de stratification ; le sel gemme se présente en amas irréguliers, qui atteignent jusqu'à 50 m. de puissance au milieu de couches argileuses salifères.

Cette formation est, à l'Est, constamment au-dessus de la formation précédente ; elle la dépasse à l'Ouest. où elle atteint les points les plus profonds de l'exploitation.

Bien que l'ensemble de la formation ne présente pas en lui-même de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

stratification, les amas ont souvent une allure schisteuse et n'offrent jamais une texture zonée concentrique. Ils présentent à peu près la même com-

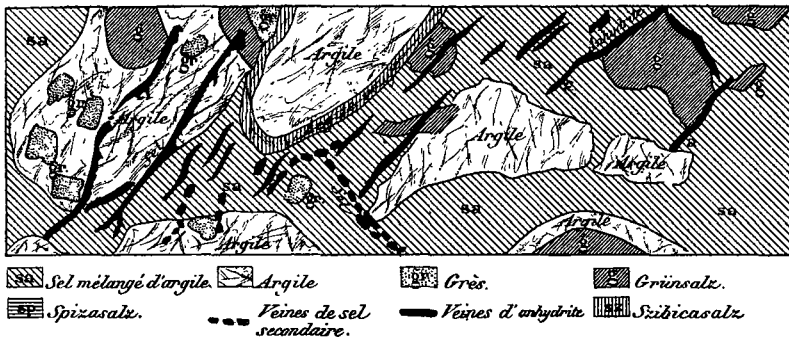


Fig. 170. — Elévation au 1/50e d'une paroi du travers-bancs Carl Victor à Wieliczka, montrant la disposition des fissures contenant du sel ou de l'anhydrite.

position que les couches inférieures, quoiqu'avec un excès d'argile. On en a conclu que ces amas provenaient de la dislocation postérieure de

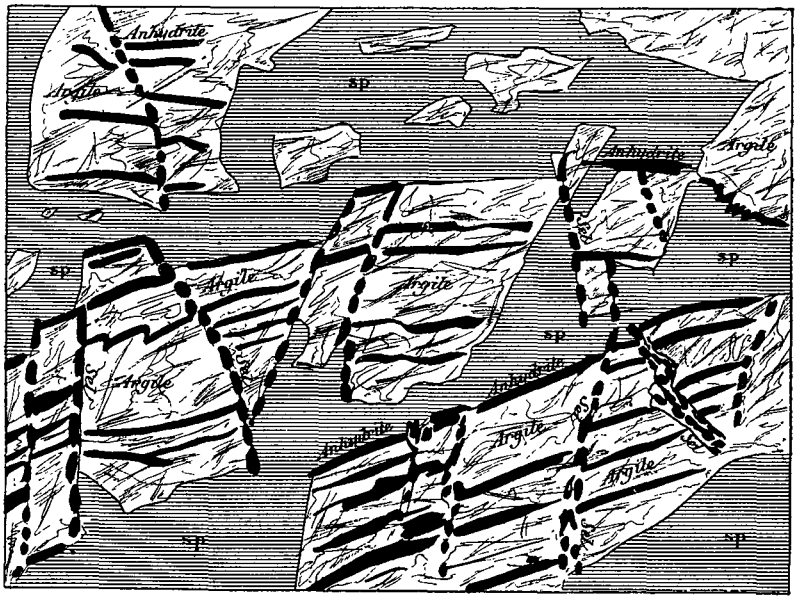


Fig. 171. — Elévation au 1/28e d'une paroi du 4e horizon à Wieliczka, montrant des lits interstratifiés d'anhydrite et des fissures à dépôts de sel secondaire.

couches nettement stratifiées, comme celles de la formation inférieure.

Il est intéressant de noter que l'on a trouvé à Wieliczka 274 espèces de fossiles, soit dans le sel, soit dans les argiles salifères. Les trois quarts

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de ces espèces (foraminifères et gastropodes) qui ont été étudiées par Reuss, étaient déjà connues dans le bassin tertiaire de Vienne, spécialement au niveau du calcaire de la Leitha et du Tegel supérieur.

L'exploitation se fait par tranches horizontales de 2,20 m. avec piliers abandonnés. L'extraction annuelle est de 70 000 t. ; le nombre des ouvriers employés de 600.

Sel de Transylvanie. — Maros-Ujvar, Parayd, Marmaros, etc. — La zone salifère de la Transylvanie a une direction générale NNE-SSW parallèle aux plissements des terrains divers du permien au crétacé, qui ont, eux-mêmes, épousé l'allure générale des schistes primitifs.

Dans cette région, les roches cristallines forment un éperon saillant allant des Portes de fer vers Klausenburg et au delà, et séparant le bassin tertiaire de Klausenburg de celui de Budapest. C'est parallèlement au bord Est de ce massif de roches que le miocène est salifère.

On rencontre le sel à l'intérieur de la courbure carpathique, du Nord au Sud, à Marmaros, près Szigeht, puis à Dees, à Thorda, à Parayd, à Maros-Ujvar, à Vizakna près Hermanstadt.

Quelques-uns de ces gisements, en particulier celui de *Maros-Ujvar*,

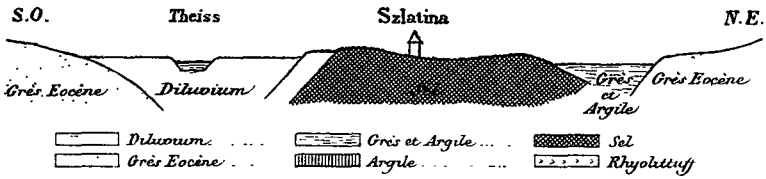


Fig. 172. — Coupe verticale S.W-NE du groupe de Szlatina.

présentent les preuves très nettes d'une action mécanique postérieure au dépôt : action qui, à Maros-Ujvar, a donné au sel tout à fait l'apparence d'une matière ayant fait intrusion dans le tertiaire comme une roche éruptive, tandis qu'en réalité on n'a affaire qu'à un simple plissement dont la figure 174 donne la coupe théorique.

Marmaros [2] se compose de trois mines : Szlatina, Ronaszek, Szukatak (que nous allons décrire plus loin), avec une fabrique de soude à Boksö. Il y a, en outre, une cinquantaine de sources salines, tenant depuis 6,69 gr. jusqu'à 26,75 gr. de sel par litre.

Les couches de sel, donnant lieu à l'exploitation de Marmaros et connues déjà avant l'époque romaine, n'ont que quelques points d'affleurement, mais font partie d'une même zone, comme le prouve, entre ces affleurements, le nombre considérable des sources salifères.

[1] Gisements visités en 1883. — Coll. Ecole des Mines, 1297, Ronaszek; 1873, Maros-Ujvar. — Voir : 1873. *Kurzer Abriss über Siebenbürgischen Salinen* (Ungar Bergdirect). — 1880-81. Henriot. *Sur Marmaros* (Journal de voyage à l'Ecole des mines). — 1882. *Sur l'éclairage électrique à Maros Ujvar* (Journal des mines d'Autriche, p. 296). — 1902. Litschauer. *Zur Entwick. Gesch. des Marmaroser Bergbaues* (Oest. Z. f. B. u. H., p. 219-224).

[2] Voir Henriot. Mémoire manuscrit n° 1906 à l'Ecole des Mines (1881).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Elles commencent à Selitché, entre la Hongrie et la Transylvanie, et s'étendent sur toute la longueur du comitat, durant plus de 100 km, en suivant le cours de la Theiss ; au Sud-Ouest, elles sont limitées par une chaîne trachytique.

Les fossiles trouvés dans la couches sont les mêmes qu'à Wieliczka, c'est-à-dire du Schlier. Au-dessus du sel, est une couche d'argile noir bleuâtre d'une épaisseur variable atteignant parfois 40 m.



Fig. 173. — Coupe verticale du groupe de Ronaszek.

Les parties supérieures de cette argile sont plastiques et imperméables, mais quelquefois sableuses ; la partie inférieure est toujours imprégnée de sel.

On ne connaît pas l'épaisseur totale des couches de sel ; mais on est descendu dans le sel jusqu'à la profondeur de 153 m.

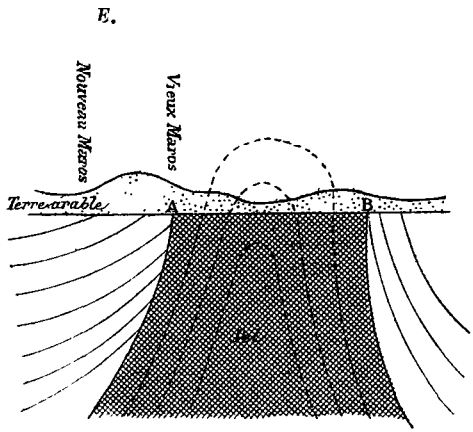


Fig. 174. — Coupe verticale théorique du gîte de sel de Maros Ujvar.

Etudions successivement les trois groupes de mines de Marmaros :

1° Les mines de Szlatina ne sont qu'à 2 ou 3 km. de Marmaros-Szigeth. Nous donnons (fig. 172), leur coupe générale, dirigée SW-NE.

La couche de sel, d'une seule étendue, a 664 m. de longueur en direction ; 1 140 m. suivant la pente. On l'a reconnue sur 112 m. de profondeur. La direction générale est Nord 45° Ouest.

2° Rônaszek (fig. 173) est à 18 km. au Sud de Marmaros-Szigeth. La partie exploitée a 1 327 m. de long, 474 m. de large et 120 m. de profondeur ; direction Nord 45° ; pente à 55°.

3° Szukatak est à 17 km au Sud de Szigeth.

La couche a été exploitée sur 1 517 m. en direction, 474 m. de large, 135 m. en profondeur ; direction Nord 45° Est ; pente : 60 à 80°.

On l'a reconnue sur 5 000 m. de long et 3 000 m. de large.

On extrait chaque année des salines de Szlatina, Ronaszek et Szukatak 150 000 m³ d'eau salée tenant 7 000 t. de sel dissous et l'écoulement des galeries donne encore 140 000 m³ d'eau salée tenant 1 000 t. de sel. La production du sel gemme était, il y a quelques années, de 150 000 t.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A *Parayd*, un peu plus au Sud, se trouve, dans des conditions analogues, au-dessous d'une grande masse argileuse alternant avec des tufs de rhyolite, un amas de sel d'où l'on extrait environ 300 t. par an.

A *Maros-Ujvar* (fig. 174), le sel pointe en masse compacte au milieu d'argiles tertiaires, où l'on n'a pu encore trouver aucune trace de fossiles. Il est terminé par des plans verticaux très nets et polis, le long desquels il s'est fait un glissement. On a remarqué que l'anneau de sel AB allait en s'élargissant avec la profondeur et que les couches d'argile, presque verticales au voisinage du gisement, se rapprochaient peu à peu de l'horizontale à mesure qu'on s'en éloignait.

Le sel de Maros-Ujvar est d'une pureté remarquable. Dans toute la masse, on peut compter sur une teneur moyenne de près de 99 p. 100 de sel. On y trouve seulement quelques traces de gypse et d'anhydrite, avec une faible proportion de carbures d'hydrogène qui lui donne une odeur assez sensible. Comme restes organiques, on y a rencontré, de même qu'à Thorda et à Wieliczka, de rares foraminifères appartenant à la première faune méditerranéenne.

La mine est exploitée par immenses chambres de 45 m. de large sur 150 à 200 m. de long éclairées à la lumière électrique.

Sel de Roumanie. — Les salines de Roumanie sont situées au même niveau que celles de Transylvanie, dans le Salzthon-gruppe (miocène moyen), au-dessous des Couches à Congéries du miocène supérieur (pontien, 52). Nous avons déjà eu l'occasion d'en parler à propos du pétrole [2].

La formation argilo-salifère renferme : à sa partie supérieure, des argiles rougeâtres avec minces lits de grès ; à sa base, des schistes gréseux micacés et des schistes argileux verts ou gris, qui apparaissent, par exemple, à Commarnicu, sur le bord de la faille séparant le miocène du pliocène.

Les grès micacés comprennent gypse, sel, soufre.

Les gîtes sont de forme lenticulaire, avec des plissements complexes qui en rendent l'étude difficile

Ils forment quatre groupes principaux, dont Mrazec a cherché à mettre en évidence la relation (discutable) avec le pétrole : 1° Tirgu Onocna; 2° Haut cours du Rimnic-Sarat; 3° Verbileau avec Slanic ; 4° l'Oltu. Les salines de Tirgu-Onocna, Rimnic-Sarat, Slanic sont d'une importance particulière.

L'exploitation se fait, comme en Transylvanie, par grandes chambres ayant jusqu'à 50 m. de haut.

[1] Coll. Ecole des Mines, 1715 (Slanic). — 1872. Boué. *Sur les gîtes de sel de Valachie* (B. S. G. F., 2e, t. 29 ; cf. 1874, p. 52). — 1874. Coquand. *Sur l'âge des sels gemmes de la Moldavie* (B. S. G. F., 3e, t. 2, p. 365). — Cobalcescu et Tietze. *Géologie de Roumanie* (J. d. KK. g. R. in Wien.). — Dianu. *Notes sur les salines de Roumanie* (en roumain). — 1886. Pellé. *Les salines de Roumanie* (Ann. d. M., 8e série, t. 10, p. 270). — 1897. Ochsenius. *Petroleum und Salz in Rumanien* (Z. f. pr. G., p. 25, 224, 317 ; 1898, p. 35. — 1901. Mrazec. *Distr. géol. des zones pétrol. en Roumanie* (Mon. des int. pétr. roum., p, 271-281.). — 1909. J. Renaudot. *La saline de Slanic en Roumanie* (La Nature, 2 janv., n° 1858).

[2] Voir, au tome 1, chap. XVIII, la description des pétroles de Roumanie.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il est à remarquer qu'à Slanic, on trouve, au-dessus du sel gemme, du gypse comme à Stassfurt et comme dans plusieurs autres gisements salins : ce qui tendrait peut-être à faire croire cette succession moins accidentelle qu'on ne l'a généralement admis.

Le sel est rubané de teintes variées avec un aspect marmoréen.

Dans ce gisement de Slanic, où l'extraction moderne du sel date de 1868, le champ d'exploitation atteindra bientôt 37 000 m².

La profondeur est au moins de 500 m. Avec une extraction de 100 000 t. par an, on estime la durée du gisement à deux cents ans. Le nombre des ouvriers est de 450. Le sel blanc de luxe est vendu sur place, impôt compris, 150 fr. la tonne, le gros sel en grains pour conserves alimentaires, 30 francs.

Sel de l'Asie Mineure[1]. — Les gisements de sel tertiaires, très nombreux en Asie Mineure, ont été généralement rattachés par Tchihatcheff au miocène. Il est probable qu'ils font partie du schlier (helvétien). Nous pouvons notamment les observer dans tout le bassin du fleuve Halys (Kysil Irmark). Ce fleuve, dont le nom même veut dire sel (en grec ἅλς), était connu dès l'antiquité pour cette richesse salifère qui, aujourd'hui, se traduit déjà, dans la seule nomenclature cartographique, par de nombreux touzla[2] (ou salines).

A l'Est de l'Halys, des carrières de sel célèbres sont depuis longtemps exploitées à *Dekilo*, à *Tépésidelik*, etc. On exploite le sel de Tchayan un peu au Nord de Soungourlou.

A l'Ouest du fleuve et au Nord-Est d'Angora, les gîtes de Gangra (*Tchangry*), ou Alès gangriné, ont acquis leur réputation au moyen âge, et la mine de Maghara à Balybagh y est encore la principale. Enfin, au Sud de l'Halys (50 km. Nord-Est de Kaisarié), les mines de Pallas et de Touz-koï sont importantes. A *Touz-koï*, on décrit des falaises de sel avec des bancs de sel atteignant 12 à 15 m. La production annuelle formait autrefois la charge de 300 à 400 chameaux. Elle représente encore une valeur de 200 000 fr.

Dans une région différente, sur la côte de Pergame, il existe des rochers de sel, que l'on a depuis longtemps appelés les roches blanches (leukó) et qui frappent aussitôt les yeux quand on entre en bateau dans le golfe de Smyrne.

Sel de Perse[3]. — Dans le Nord-Est de la Perse, une importante zone

[1] 1857. Abich. *Ueber den Steinsalz und seine geol. Stellung im Russischen Armenien* (Mem. Acad. Saint-Pétersbourg, t. 7, p. 61-150). — Tchihatcheff, *loc. cit.*, t. 2, 270 ; t. 3, 520.

[2] En turc, sel se dit touz; touzlou veut dire salé ; touzla, saline.

[3] 1851. Nicaise. *Sur les masses de sel de l'île d'Ormuz* (golfe Persique), (B. S. G. F., 2e t. 8, p. 275). — 1857. Abich. *Das Steinsalz und seine geologische Stellung im Russischen Armenien* (Mem. Ac. Sc. Saint-Pétersbourg, 6e série, t. 7, p. 61-150. 10 pl.). — 1888 (Ann. d. Mines), 8e, p. 568. — 1898 (Z. f. pr. G. p. 432; cf. 1893, p. 433. — Floyer. *Unexplored Baluchistan.* — E. Reclus, *Géog. Univ.*, t, 9, p. 281. — 1908. Olmer. *Rapport sur une mission scientifique en Perse* (Nouv. Arch. des Mis. Scient. 110 p. in-8e). — 1911. H. d'Allemagne. *Du Khorassan au Pays des Backhtiaris.* Hachette, 4 vol. in-4e.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

salifère traverse l'Azerbeidjan. On la trouve ensuite, entre Kaswin et Hamadan, à l'Ouest de Téhéran, entre deux zones d'aquitanien (48). Au Sud-Est de Téhéran, c'est elle qui forme la montagne du Sel (*Kouh-i-Nemek*) et la montagne du gypse (*Kouh-i-Getch*), recouverte ici par de l'helvétien supérieur (50). Dans l'Est du pays, c'est elle qui constitue, sur le versant Sud de l'Elbourz, près des mines de turquoises de Nichapour et de Cherifabad, une mine de sel, à 9 km. à l'Est de Maiden, près du petit village de *Karakhauch*. La couche a là, par endroits, jusqu'à 130 m. et rappelle donc les conditions de gisement de la Galicie, de la Transylvanie, de la Roumanie, du Donetz. Le sel, en moyenne gris et noir, est, par endroits, très blanc. On en extrait, dit-on, 750 t. par an. La même formation paraît se continuer dans l'Afghanistan, vers Hérat.

Plus au Sud, une longue zone désertique, dirigée en moyenne N. W.-S. E. comme les plis de l'Iran, occupe la plus grande partie de la Perse orientale, dans le Khorassan, le Kouhistan et le Kirman. Les efflorescences salines de tous genres y sont nombreuses et parfois utilisées. Les terrains gypso-salifères du miocène contribuent évidemment d'une façon continue à leurs formations.

A l'Est de la route de Téhéran à Ispahan, ce désert à efflorescences salines arrive aux portes de Koum et de Kachan. On recueille la terre et on la lessive grossièrement pour en extraire du sulfate de soude. La même région, à l'Est de Téhéran et de Yezd, renferme de nombreuses argiles gypsifères.

A l'Ouest et au Sud-Ouest, on retrouve encore une troisième zone analogue, décrite par Loftus sous le nom de série gypsifère, qui part du Kurdistan, passe à l'Ouest de Chiraz et arrive au détroit d'Ormuz, au débouché du golfe Persique.

Le *lac Niris* à l'Est de Chiraz, dans la Perse méridionale, au Sud-Est de l'ancienne Persépolis, présente une salure assez forte pour qu'on y voie parfois flotter, à la fin de l'été, des blocs de sel comme les glaçons des mers polaires. C'est une simple nappe d'inondation sans profondeur, mais qui atteint 100 km. de long.

Enfin, sur le golfe Persique, près de *Bender-Abbas*, les mines de sel, au voisinage desquelles se trouvent des gîtes pétrolifères, ont quelque importance. Le sel y est intercalé dans des terrains tertiaires rouges variant du grès à la marne. Les principaux centres sont l'île de Kichm, Ormuz, Larek, Pohal, Jabel, Bostana et Hameran. Le sel se présente en boules rouges ou blanches. Les qualités inférieures rouges sont employées sur place pour saler des poissons; les qualités plus fines sont portées sur la côte d'Arabie à Mascate, d'où on les exporte à Maurice, Zanzibar, Batavia et au Bengale. Ces gisements, comme les précédents, sont exploités par grandes chambres souterraines.

Ainsi qu'il arrive si souvent pour les couches salifères, on a discuté sur l'âge de ces terrains et l'on a quelquefois proposé d'y voir plusieurs niveaux différents. Pour Suess, ce sont des représentants du schlier (helvétien) qui mettent en évidence l'assèchement caractéristique de cette période, sur lequel nous avons insisté plus haut.

Sel du Turkestan russe. — On a parfois rapporté à l'époque crétacée

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

les argiles salifères de Boukharie (Turkestan russe), dont l'âge doit être plutôt tertiaire[1] et représenter l'équivalent du schlier salifère persan. Ces argiles salifères forment une bande Nord-Est, visible depuis Patta-hissar, point terminus de la navigation sur l'Amou-Daria, jusqu'à Saral. Les gisements de sel contribuent à la formation de lacs saumâtres ou salins, dont quelques-uns sont exploités : *Borobad-soun*, district de Vernoé, *Ebi-nor*, région de Kouldja (à l'Est de l'Issyk-koul) et *Biliou-koul*, district d'Aoulié-ata.

Certains gisements de sel gemme dans le Turkestan ont un grand développement. A l'Est de Khodjent, dans les monts Ak-tchékou, Mouchketow signale plusieurs amas ayant en moyenne 15 m. suivant l'inclinaison, 10 m. suivant la direction et jusqu'à 3 m. d'épaisseur. Dans l'Alaï, vallée de Touz-arass, à 2600 m. d'altitude, un amas de sel (peut-être plus ancien que les autres), associé avec de l'argile rouge et du gypse, a 40 m. sur 100 et renferme, dans ses parties supérieures, beaucoup de sels magnésiens. Enfin, beaucoup plus à l'Est, dans le territoire de Sémiretchié, à l'Est du lac Issyk-koul, de très grands amas de 40 m. sur 30 m. et 10 m. de puissance sont dans une argile verte, qui repose sur du gypse et est recouverte par des argiles multicolores. Ce gisement, probablement tertiaire comme les précédents, est exploité par les kirghises. Il peut marquer le prolongement de la zone du schlier vers le Tien-chan.

En rapport avec la formation salifère, on connaît, dans le Turkestan russe, de nombreuses formations gypseuses, dont quelques-unes ont donné lieu, par réduction, à du soufre natif. Des masses de gypse, particulièrement importantes, atteignant 200 m. de puissance, se trouvent, aux environs du village Sangar, district de Khodjent, à 1 000 m. d'altitude.

Sel de l'Inde, Salt-Range[2]. — La région Nord-Ouest du Punjab entre l'Indus et le Chenab, que l'on appelle le Salt-Range, a été très étudiée par les géologues indous et, comme il arrive souvent dans les régions salifères, où l'absence de fossiles et la complication des mouvements subis rendent la stratigraphie difficile, elle a donné lieu successivement à des interprétations diverses. Il y a quelques années, on classait dans le cambro-silurien certains d'entre eux situés à l'Est de l'Indus dans le Salt-range proprement dit et qui se trouvaient ainsi constituer les plus anciens

[1] Levat a attribué au crétacé les argiles gypsifères et salifères qui semblent plutôt, d'après les coupes, postérieures à l'étage de Ferghana lutétien (44).

[2] 1868. Medlicott H.-B. *Notes on the Salt of the Salt Range* (Rec. Gov. Ind., 64, 146-155). — 1870-1872. Warth H. *Report on the Salt mines of the Punjab Salt Range west of Pind Dadun Khan* (Inland Customs report, 1870-1871, p. 184-213. — 1873-1874. Tscher, mak G. *Kalisalz aus Oslindien* (Min. Mitth., 1873, p. 135 ; Rec. Geol. Surv. Ind., t. 7, 64, 1874). — 1874. *Potash-salt from East-India* (Rec. India t. 7). — 1875. Wynne A.-B. *The Trans-Indus Salt region in the Kohat district* (Mem. Geol. Surv. Ind., t. 11, p. 105-298). — 1878. Wynne H.-B. *Geology of the Salt-Range in the Punjab* (Mem. India, 14). — 1881. Ball. *Economic geology of India*, p. 482. — 1891. *The salts of the Sambhar Lake in Rajputana* (Rec. Ind., t. 24). — 1896. Noetling (Fr.). *Beiträge zur Kenntniss der glacialen Schichten permischen Allers in der Salt-Range*, Punjab (N. J. f. Min. t. 2). — 1900. *Salpêtre indou* (Z. f. pr. G., p. 391). — 1901. Noetling. *Zur Geol. der Saltrange* (N. J. Min. Beil., t. 14, p. 369-471). — 1902-1903. Noetling (Rep. Geol. Surv. Index, p. 25 et 26) : cf. Geol. Zentral-Blatt f. Miner, 1903.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gisements salifères du monde, tandis qu'on rattachait au tertiaire la zone la plus importante, développée entre Bannu et Kohat, à la frontière Afghane, à l'Ouest du fleuve. Ces gisements salifères anormaux se trouvent, en effet, à la base du silurien authentique et, par suite, l'on avait établi autrefois, dans le paléozoïque du Salt-range, cinq divisions de bas en haut : marnes à sel (Salt-Marls), grès pourpres, couches à Neubolus, grès magnésiens, zones à pseudomorphoses de sel. Le Salt-Marl, qui semble ainsi former la base du paléozoïque, a été regardé d'abord comme une couche sédimentaire en place. Plus tard, Middlemiss a voulu en faire une intrusion analogue à celles des roches ignées. Puis Holland l'a interprété comme un produit de métamorphisme exercé par des vapeurs ou des solutions acides souterraines, sur des calcaires magnésiens préexistants. Ces diverses théories, que l'on retrouve pour une foule d'autres gisements gypseux ou salins et qui correspondent sans doute à l'obscurité ordinaire de leur stratigraphie, sont, d'après les dernières observations de Noetling, à remplacer par une théorie beaucoup plus simple, où les phénomènes obscurs et les problèmes que présentent ces masses salifères sont interprétés par l'effet d'un charriage du Nord au Sud, ayant amené, au-dessus de couches tertiaires à sel, des couches cambriennes en position anormale.

L'ensemble des gisements se trouve alors rentrer, d'une façon plus logique et plus compréhensible, dans cette grande série salifère miocène que nous avons déjà suivie à travers la Perse.

Un des principaux gisements est, à l'Ouest de l'Indus, celui de *Bhadur-Khel* où, sur une longueur de 6 km. de long et 500 à 700 m. de large, s'alignent des carrières. Une étroite vallée recoupe le gisement et l'on a des falaises de sel atteignant 30 m. de long. Le sel constitue là de grandes masses solides et homogènes de couleur blanche ou grise, avec un peu de fine argile bleue ou grise disséminée et des veines gypseuses. Dans le Salt-Range, d'après les descriptions de Warth et Wynne, les exploitations, remontant à une époque très reculée, se faisaient, il y a quelques années, à Kewra (Mayo), à Baggi, Sujewal, Sardi, etc., par grandes chambres souterraines, présentant parfois l'aspect le plus pittoresque. Elles produisent aujourd'hui 100 000 t. par an.

A *Kalabagh*, on exploite à ciel ouvert une série de couches salifères, relativement minces ayant d'ordinaire 2 à 3 m., au maximum 6. D'une façon générale, le sel est plus impur, plus rouge, en bancs plus minces, plus irréguliers, plus mêlés de gypse que sur la rive Ouest.

Sel du Texas, de Louisiane (éocène) et de Californie. — Nous avons précédemment signalé, à propos du pétrole, puis du soufre, les importantes formations de sel et de gypse éocènes associés avec des dolomies et avec des terrains pétrolifères dans le Texas et la Louisiane[1]. On a traversé là des épaisseurs de sel atteignant 390 m. à High-Island (Chambers), et 150 m. à Dayton Hill (Liberty). En Californie également, nous avons vu le pétrole s'accompagner de dépôts salins[1].

[1] Voir la description de ces gîtes pétrolifères au t. 1, chap. XVII.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

4° SEL DES RÉGIONS DÉSERTIQUES[1]

Après avoir passé en revue les formations de sel des époques géologiques, nous arrivons aux gîtes de sels formés de nos jours ou presque de nos jours dans les régions désertiques, où les précipitations d'eau atmosphériques sont insuffisantes pour élever le niveau des lacs profonds, de manière à leur assurer une communication avec la mer. Il existe ainsi, en un certain nombre de régions de la Terre, des dépressions où s'accumulent encore les principes salins et quelques-unes sont industriellement exploitées.

Leur formation, que nous allons étudier sur quelques exemples typiques en parcourant tour à tour l'Asie, l'Afrique et l'Amérique du Nord, peut se rattacher à trois causes distinctes :

1° On peut avoir affaire aux résidus d'une mer récente, comme celle qui, à l'époque pliocène, remplissait le bassin aralo-caspien, ou, plus tard encore, le Sud de la Californie. Nous trouvons alors, à l'état naturel, quelques cas analogues à ce que réalise artificiellement l'industrie des marais salants.

2° Le sel peut provenir du lessivage de terrains géologiques, où il avait été primitivement accumulé par un des phénomènes que nous avons étudiés plus haut; c'est le cas des salines d'Arzeu en Algérie.

3° Le sel peut résulter de la simple concentration des eaux douces privées d'écoulement; car celles-ci, quelle que soit d'ailleurs la source dont elles le tirent, en contiennent toujours une certaine proportion. C'est, sans doute, le cas des lacs salés de l'Ouest américain, et, particulièrement, du Grand Lac Salé de l'Utah, étudié plus loin, ou encore des gypses et sels du Gobi, que l'on pourrait en rapprocher.

Mais, quelle que soit l'origine de l'eau accumulée, il faut essentiellement, pour que l'évaporation se produise, que le climat soit désertique, sans quoi le bassin finit toujours par se remplir assez pour trouver un écoulement vers la mer.

Nous avons étudié autrefois cette question en détail, à l'occasion de l'Asie[2], qui offre pour elle un champ d'investigations particulièrement intéressant. Nous reproduisons ici les principales conclusions de cet examen.

Sibérie[3]. — Dans toute la Sibérie occidentale, on voit, au Sud du Transsibérien, se développer une zone à lacs salés, qui avait déjà commencé un peu au Nord, mais qui se continue en s'accentuant vers le Sud. Là, une steppe extraordinairement plate contient des lacs à salure croissante du

[1] On trouvera une étude de cette question dans les *Richesses minérales de l'Asie*, page 423.

[2] *Asie*, pages 423 à 439.

[3] 1906. Buschmann, J. Ottokar. *Das Salz, dessen Vorkommen und Verwertung in sämtlichen Staaten der Erde.* t. 2. *Asien. Afrika. Amerika und Australien mit Ozeanien* (Leipzig-Engelmann). — 1908. Brecht-Bergen R. *Das Salz und Bitterseengebiet zwischen Irtysch und Ob.* (Globus, t. 93, n° 9, p. 133-139) avec une carte).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nord au Sud, à mesure que l'on se rapproche de la zone à vents secs persistants, qui occupe la dépression aralo-caspienne.

La Sibérie est presque totalement alimentée en sel par ce district de Semipalatinsk et par la région des steppes du Turkestan : les salines de la région d'Irkoustk n'ayant qu'une faible production. Les lacs de la steppe kirghise et de la steppe de Baraba, qui sont au nombre de près de 700, s'évaporent, en effet, pour la plupart, pendant l'été et donnent des croûtes de chlorure de sodium, parfois avec sels de Glauber, etc. Tous les deux ou trois ans, on peut recommencer une récolte, qui se fait par les moyens les plus rudimentaires en grattant le fond des lacs, lavant sommairement et transportant par charrettes ou par chameaux. L'extraction annuelle est évaluée à environ 80 000 t. Les trois lacs les plus importants affermés par l'État sont ceux de Koriakovskoié (17 000 t. ; 1 200 ouvriers), de Karabachskoié, non loin de Sémipalatinsk (4 000 t.) et de Karaçouskoié, près de Pavlodar (1 600 t.). Mais il existe, de plus, un grand nombre d'exploitations libres.

Plus à l'Ouest, la vaste région des lacs de l'Asie occidentale pénètre jusqu'à l'Oural[1].

Zone Aralo-Caspienne[2]. — La zone aralo-caspienne est une des plus intéressantes pour l'étude des évaporations salines prolongées jusqu'à l'époque actuelle. Ces dépôts salins y sont remarquablement abondants et c'est, en outre, un des points où l'histoire tertiaire se continue le plus directement et sans interruption sous nos yeux.

Là, les deux régions aujourd'hui séparées du Touran (dépression aralo-caspienne) et du Turkestan chinois, semblent deux fragments récemment disjoints d'une ancienne mer, dont on a essayé bien des fois de reconstituer l'histoire, plus compliquée qu'on ne le croirait d'abord.

On sait en deux mots, et nous venons de rappeler encore, que la Caspienne, la mer Noire, la mer d'Aral sont considérées comme les résidus de l'ancienne mer tertiaire d'âge pontien (53), dont les strates apparaissent, en divers points, plissées et déformées. Mais il n'y a pas eu continuité de l'abaissement du niveau. Andrussof a montré que la Caspienne était plus basse à la fin du pliocène qu'aujourd'hui[3]. A ce moment, il s'est produit une grande érosion des couches dites aralo-caspiennes (pontiennes). Après quoi, on a eu de nouveau une grande Caspienne très

[1] 1897. (Congrès géol. V, p. 7, avec bibl.).

[2] 1855. De Vallat. *Sur l'extraction du sulfate de soude des lacs du gouvernement d'Astrakhan* (Ann. d. M., 5e, t. 10, p. 617). — 1857. Abich. *Das Steinsalz und seine Stellung im russischen Armenien* (Mém. Ac. Saint-Pétersbourg, t. 7). — 1878. *Richesses minérales de la Russie d'Europe.* — 1895. N. Sokolow. *Ueber die Entstehung der Limane Südrusslands* (Mem. Com. geol. russe, t. 10, n° 4). — Congrès géologique de 1897. — 1898. Kousnetzow. *Die Glaubersalzbildung in Karabugas Busen* (Z. f. pr., G., 1897, p. 368 ; 1898, p. 26). — 1899. Otto Lang. *Der Adschidarja (Karabugas) als Schauplatz einer Salz und Bitumen Lagerbildung* (Essener Glückauf, p. 68 à 73). — 1899. W. Anikin. *Ueber Schwankungen im Salzgehalt der Salzseen des Kaspi-Beckens* (Ann. Geol. et min. de la Russie, t. 3, n° 4 ; Z. f. pr. G., p. 397). — 1899. Kumatow. *Industrie du sel en Transcaucasie* (en russe) (Tifliski Sistok, n° 10. Tiflis). — 1903. Ochsenius. *Glauber Salzschichten im Adschidarja* (Caspienne Est) (Z. f. pr. G., p. 33).

[3] Récemment, l'Aral, le Syr-Daria, etc., ont vu leur fond se relever. (*Asie*, p, 250.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

étendue allant rejoindre l'Aral, allant aussi rejoindre la mer Noire. Cette Caspienne a laissé, sur le rivage Ouest, des traces à 300 m. au-dessus du niveau actuel et, sur le rivage Est, à 65 m. Le seuil n'étant qu'à 8 m. au-dessus de la mer Noire et 36 m. au-dessus de la Caspienne, on peut admettre la communication récente de ces trois mers. Enfin, une dessiccation progressive du climat, dont l'expédition Carnegie a récemment encore retrouvé les traces dans le Turkestan russe et le Nord-Est de la Perse, a déterminé progressivement l'évaporation actuelle, mais non sans oscillations périodiques dans les dernières étapes[1].

Quelles sont maintenant les conditions qui président, dans ces régions, à l'évaporation actuelle? Elles sont doubles : bassin sans écoulement, climat désertique.

Le premier phénomène d'ordre géologique a été la dénivellation de certains compartiments terrestres, sur lesquels se sont produites de la sorte des zones, à la fois surélevées par rapport à l'ensemble du continent et pourtant déprimées par rapport aux régions immédiatement contiguës. Mais, sous un climat pluvieux, il peut exister de grandes fosses comme les lacs italiens ou le lac de Genève : elles ont pourtant un écoulement et l'on n'y constate aucune trace de dépôt salin. Pourquoi maintenant y a-t-il climat désertique? Autrement dit, pourquoi y a-t-il réduction des précipitations pluvieuses à un chiffre infime? Nous ne saurions discuter ici en détail ce problème de géographie physique, dans la solution duquel bien des influences diverses interviennent. D'une façon générale, l'Asie antérieure paraît manifester un assèchement graduel, accusé depuis l'antiquité et dû à son climat continental, que l'on attribue lui-même au régime des vents[2]. Les vents dominants de l'hémisphère septentrional, le courant polaire du Nord-Est et le contre-courant venu de l'équateur, ont, dit E. Reclus, à parcourir l'un et l'autre toute une moitié de l'ancien monde sur des espaces de plusieurs milliers de kilomètres, avant de se rencontrer sur les plateaux d'Iran et dans les plaines de la Babylonie. Dans cette région, les deux vents opposés sont parmi les plus secs de la terre; leur parcours est indiqué au travers de l'Asie et de l'Afrique par une large zone de déserts, du Gobi au Sahara. La part d'humidité n'est suffisante, pour faire naître spontanément une riche végétation, que sur les rivages méridionaux de la Caspienne et de la mer Noire, où les vents du Nord ont à traverser des étendues marines avant de frapper la côte, et çà et là, sur les bords de la Méditerrannée, où les vents, chargés d'humidité, sont infléchis vers le littoral.

Formations salines actuelles de Lycaonie. — Les mêmes influences, dont nous venons de dire un mot à propos de la zone aralo-caspienne, entraînent, en divers points de la zone désertique d'Asie Mineure et de l'Iran, le phénomène d'évaporation saline. Il se traduit, dans le désert salé de Lycaonie, comme dans celui de la Perse, par des lagunes

[1] On en trouvera le développement dans les *Richesses minérales de l'Asie*, p. 425 à 432, avec des cartes des lagunes aralo-caspiennes pendant l'oligocène et pendant le sarmatien.

[2] Nous reviendrons plus loin sur cette question, p. 153 à propos du bassin de Sistan.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

saumâtres ou par des bassins salifères asséchés, dont il suffira d'indiquer ici certains traits particuliers.

Dans leur ensemble, tous les dépôts salifères du centre de la Turquie d'Asie semblent le résidu concentré d'un ancien bassin (lacustre ou marin), qui aurait occupé la dépression centrale entre les chaînes pontiques et tauriques et qui, depuis l'époque miocène, mais surtout depuis l'époque pontienne (53), aurait commencé à s'évaporer, à rassembler ses sels en un certain nombre de flaques, comme cela se produit un peu plus au Nord-Est pour la région Aralo-Caspienne.

Entre tous ces bassins salifères, on connaît, depuis l'antiquité, le *Touz Tchöllu,* ou Gueullu (antique Tatta), que Strabon citait déjà comme une curiosité. La teneur en chlorure de sodium y est considérable; d'après Philipps, elle atteindrait 32,2 p. 100, l'une des plus fortes que l'on ait jamais observées. L'exploitation en a été récemment confiée, par le gouvernement, à une société particulière. La production serait, d'après Naumann, d'environ 20 000 t.

Tandis que ce lac est franchement chargé de chlorure de sodium, celui du *Mourad Gueul,* au voisinage, contient des sels de magnésium. Le *Boulouk Gueul,* près d'Eskil, renferme surtout des sulfates de magnésium et de sodium. D'une façon générale, Tchihatcheff a fait remarquer autrefois que le sel de la Lycaonie ne semblait pas accompagné, du moins en quantités notables, par des matières bitumineuses, comme l'est, celui par exemple, de la mer Morte [1].

Arménie. — Une autre région à dépôts salins, comprise dans la zone aralo-caspienne étudiée plus haut d'une façon générale, est celle de l'Arménie et de la Perse occidentale, où les lacs Ourmiah, Khozapin et divers lacs au Sud-Est de l'Ararat sont arrivés à un degré de salure plus ou moins avancé.

On peut considérer la plupart de ces lacs comme s'étant formés à l'époque pliocène, à la suite des derniers mouvements principaux. Quelques-uns d'entre eux ont été comblés par les dépôts détritiques et ce sont ceux qui représentent stratigraphiquement l'étage pliocène par des sédiments lacustres. D'autres, ayant eu un libre écoulement, sont restés des lacs d'eau douce, comme les lacs Gokcha, Chaldir, Topravan, Nazik. Quelques-uns enfin manifestent un degré d'évaporation saline plus ou moins avancé, comme les lacs Khozapin, Ourmiah et les petits lacs sodiques au Sud-Est de l'Ararat. Sur les bords de certains d'entre eux, on peut voir d'anciennes terrasses, qui montrent le niveau primitif des eaux et mettent en évidence leur abaissement progressif avec les effets de l'évaporation.

Entre les divers lacs salés, on cite particulièrement celui d'*Ourmiah,* qui contient jusqu'à 18 p. 100 de chlorure de sodium.

Ce lac, à la cote 1330, forme une vaste nappe liquide de 4 000 km., mais de peu de profondeur: au plus 14 m., en moyenne 5 m. Cette nappe,

[1] Rappelons en passant qu'en dehors de ces évaporations désertiques, l'Asie Mineure possède des évaporations littorales artificielles. Les salines de Chypre (Larnaca et Limassol) produisent 25 à 30.000 t. de sel par an.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

arrivée à un degré d'évaporation très avancé, atteint un poids spécifique de 1,155 et contient près de 20 p. 100 de matières salines : six fois plus que l'eau de mer, plus même que la mer Morte. Des dalles de sel se déposent sur la vase des bords.

L'analyse donne, pour 100 parties de sels : chlorure de sodium : 86,20; chlorure de magnésium : 6,81 ; sulfate de magnésium : 4,15; sulfate de calcium : 1,15; sulfate de potassium : 1,74.

Des observations faites, il résulte manifestement que le lac a beaucoup diminué d'extension depuis le début du pléistocène, comme le prouvent, aux environs, des traces d'anciens rivages; mais, pourtant, il a passé déjà par une phase d'asséchement plus intense que celle d'aujourd'hui. Des traditions, dont il reste à préciser la valeur, parlent de digues et de chaussées construites par d'antiques souverains dans la partie méridionale du lac, aujourd'hui envahie par les eaux. Elisée Reclus [1] a insisté fort justement à ce propos sur le rôle joué par l'action humaine dans l'asséchement apparent de certaines régions où, en réalité, les eaux sont seulement captées différemment ou accaparées : soit, comme ici, par des drainages superficiels; soit, ailleurs, par des sondages industriels.

Il y a lieu également de faire intervenir la périodicité très probable des phénomènes météorologiques.

Le lac de Van (à la cote 1801) contient, pour 100 parties d'eau : chlorure de sodium 9,53; carbonate de sodium 7,14; sulfate de soudium 2,66; sulfate de potassium 0,97; carbonate de magnésium 0,57 ; carbonate de calcium 0,04; sulfate de calcium 0,06; au total 21,14 p. 100 de solides en solution.

Contrairement à ce que l'on observe dans la plupart des lacs de cette région, mais conformément à ce que nous avons vu, plus haut, pour le bassin de l'Aral, il paraîtrait que le niveau du lac de Van s'élève actuellement [2], et l'on a encore voulu expliquer cette anomalie en admettant que des émissaires souterrains, communiquant avec les hauts affluents du Tigre, s'étaient trouvés obstrués.

On a signalé un peu de carnallite à Maman, sur le Kizil-ouzen, entre le Sahend et la Caspienne. Des gisements de sel existent en divers points du plateau Arménien, souvent nommés Touzla, notamment dans la vallée du Frat, près d'Erzeroum, d'Erzinguian, etc. On parle de borax dans le désert de sel de Sindjan.

[1] *Géographie universelle*, p. 180 à 185. On peut noter en passant que des sources nombreuses jaillissent au fond du lac : sources d'eau douce à caractère vauclusien. Ailleurs, des sources thermales chargées de carbonate de calcium déposent des travertins qui forment le « marbre de Tabriz », ou la curieuse butte calcaire connue sous le nom de Trône de Salomon (Takht-i-Soulaiman), au haut de laquelle s'ouvre une large vasque formant puits. Les diverses sources thermales et minérales de la région, en rapport plus ou moins direct avec une ancienne activité volcanique, ont pu jouer un certain rôle accessoire dans la minéralisation du lac.

[2] Reclus, t. 9, p. 333. En Palestine, on sait que les phénomènes d'évaporation se sont continués jusqu'à nos jours en donnant des sels d'une composition spéciale, associés avec des produits bitumineux dans la région de la *Mer Morte*. Quand on arrive au S. W. de cette mer, on voit jusqu'à 40 m. de hauteur au-dessus du lac actuel, une couche salifère correspondant à une phase d'évaporation d'âge pléistocène. C'est l'équivalent de ce que nous trouvons sur la Caspienne (p. 158), le lac d'Ourmiah (p. 152), le désert de Sistan (p. 153), le grand lac salé de l'Utah (p. 153).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Turkestan russe. — Dans le Turkestan russe, dont nous avons déjà décrit les gisements miocènes, il a existé une mer récente allant jusqu'au Ferghana. Cette mer a été peu à peu comblée, non seulement par l'évaporation, mais par un apport énorme, et que le déboisement a accru encore quand l'adoucissement des pentes par son effet même aurait dû tendre à le réduire. L'Amou-Daria qui, sur de grandes étendues, traverse les argiles friables à gypse et à sel du tertiaire, emporte des limons qui arrivent à 3 gr. par litre et qui s'accumulent en aval sur de grandes étendues, où il manque seulement un peu d'eau pour les dessaler et les rendre comparables à ceux qui font la richesse de l'Egypte. Toute cette région du Turkestan russe offre, de la manière la plus manifeste, les signes divers d'un asséchement, qui s'accentue sans cesse depuis l'époque historique.

Désert de Sistan. — Le Sud du Turkestan et l'Est de la Perse ont fait, en 1903, l'objet d'études spéciales, entreprises à ce propos par une expédition de la fondation américaine Carnegie[1].

On peut diviser l'Iran en deux grands bassins : le bassin persique proprement dit à l'Ouest, et, à l'Est, le bassin de Sistan, dont le centre est sur la frontière de l'Afghanistan. C'est ce dernier, d'un accès difficile et fort peu étudié jusqu'ici, que Huntington a décrit. Toute cette région Est de la Perse est d'une extraordinaire aridité. Il semble qu'ici, comme en Europe et dans le Nord de l'Amérique, les modifications géographiques les plus profondes, dont cette aridité est un terme caractéristique, soient dues à des changements de climat.

On a pu constater, en étudiant les terrasses anciennes, une dessiccation progressive de la région depuis une période, où l'occupation humaine a été très active dans ces régions, aujourd'hui déshéritées, alors occupées par des champs cultivés et de grandes cités.

Formations salines actuelles de l'Asie centrale, et de l'Inde. — Le Nord-Ouest de l'Inde présente, à l'Est du bas Indus, une grande zone désertique à climat tropical, qui prolonge, avec des caractères un peu différents, celle de la Perse. Plus au Nord-Est, en se rapprochant de l'Himalaya, dans le Punjab, sans qu'on puisse parler de climat désertique, des efflorescences salines de divers genres produisent des sels divers de soude : carbonates, borax, nitrates, etc.

Puis, quand on franchit l'Himalaya, on trouve dans toute l'Asie Centrale, dans les steppes glacées du Tibet, dans le Turkestan chinois, dans la Dzoungarie, dans le Gobi, des bassins sans écoulement provoqués par

[1] 1882. YAKOFLEF (Jakowlew). *Zur Geologie der Aralo-Kaspischen Niederung* (Bull. Imp. Ac. Sc. Saint-Pétersbourg, t. 28, 364-376. — 1887. BOGDANOVITCH. *Sur les recherches géologiques dans la partie montagneuse de la région transcaspienne et des provinces boréales de la Perse* (Bull. Com. Géol. Saint-Pétersbourg, t. 6, 66-104 en russe, avec extrait français). — J. WALTHER. *Das Oxusproblem in historischer und geologischer Beleuchtung* (Pet. Mit., t. 44, 204-214). — 1900. J. WALTHER. *Das Gesetz der Wüstenbildung*, (Berlin; Reimer). — 1902. ANDRUSOF. (Andrussow). *Beiträge zur Kenntniss des Kaspichen Neogen, Die Aktschagylschichten* (Mém. Com. Geol. Saint-Pétersbourg, t. 15, n° 4). — 1905. PUMPELLY. *Explorations in Turkestan, with an account of the Basin of Eastern Persia and Sistan. 5e expédition de* 1903. Carnegie Institut, 1 vol. in-4°.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des effondrements de coulisses disjonctives et dont le principal, au Sud de Tourfan, sur le 43e degré, descend à 70 m. au-dessous de la mer. Le climat aidant, les matières salines s'y déposent souvent, bien qu'auprès d'un bassin à salure concentrée on puisse rencontrer un bassin, tout pareil comme structure mais mieux alimenté, dont l'eau est restée douce. On a là simple évaporation d'eau douce intérieure sans qu'il puisse être question d'une ancienne mer.

En parcourant ces contrées, nous y voyons se déposer simultanément, dans des conditions qui paraissent d'abord fort analogues, des dépôts salins très divers, pouvant parfois témoigner d'une concentration plus ou moins avancée, ailleurs influencés par d'autres causes : du gypse, du sel, des carbonates de soude, des borates, etc. Tout cet ensemble synchronique peut nous expliquer ce que nous rencontrons dans certaines phases de l'histoire géologique et même nous faire comprendre comment, sans grande différence dans les conditions apparentes, à la même époque, les matières salines peuvent être, suivant les points, non seulement en quantité, mais aussi de nature différente.

Formations salines de la Chine. — Les régions désertiques de Chine présentent également des efflorescences salines. On connaît la distinction capitale qu'il faut établir entre la Chine du Nord au climat sec, avec lacs sans écoulement, dépôts de steppes et formations salifères et la Chine du Sud au climat humide, avec forte altération superficielle et profondes entailles par les cours d'eau.

Dans le Nord, on a distingué une période d'érosion, une période de steppes et une de loess. Les premiers dépôts, d'après Loczy, seraient des formations d'eau douce. Puis le climat s'assèche (steppes), les lacs deviennent salés; enfin le ruissellement (ou les apports éoliens) donnent le loess. Dans le Sud, l'évaporation avec dépôts de sel ne s'est pas produite; mais on a eu une période glacière (bords Est du plateau tibétain), à la place de la phase des steppes.

Salines d'Arzeu, près d'Oran[1]. — **Chotts algériens.** — Après avoir établi, dans la zone aralo-caspienne, l'évaporation probable d'une ancienne mer et signalé en passant, dans l'Asie centrale, des concentrations de simples eaux douces, nous rencontrons ici un cas où la formation saline paraît produite par la dissolution et la concentration du sel contenu dans les terrains géologiques.

Les salines d'Arzeu, situées près d'Oran, ne sont autre chose qu'un lac de 1 500 hectares à peu près, situé à 12 km. de la côte. Formé par les pluies d'hiver, en été il est presque complètement desséché. Le sel présente alors une croûte de 0,30 m. à 0,40 m., que l'on ramasse à la pelle.

Ce sel résulte du dessalement des terrains triasiques environnants, formés de collines sableuses, par les eaux.

La couche supérieure est constituée par un sel gris de 0,05 m. à 0,10 m. d'épaisseur. La couche inférieure se compose de sel blanc très pur.

[1] 1905. L. De Launay. *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 243 et 246.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La production était, en 1885, de 20 000 t., sur lesquelles 8 000 t. de sel blanc. En 1907, les trois lacs salés de la province d'Oran ont produit 15 000 t.

Le prix de revient est, paraît-il, de 4 fr. par tonne.

La saline est reliée au port d'Arzeu par un chemin de fer de 20 km.

Les *chotts algériens*, que l'on avait autrefois considérés comme le résidu d'une ancienne mer, paraissent de même être simplement le produit de la concentration des eaux qui ont circulé sur le terrain triasique marno-gypseux et sur les terrains lacustres oligocènes, eux aussi légèrement salés. Des bassins de la même région, encaissés par des calcaires non salifères, sont remplis d'eau douce. Dans les chotts salés, la profondeur d'eau la plus grande ne dépasse guère 2 m.

Lacs salés de l'Ouest Américain[1]. — L'Ouest de l'Amérique renferme une série de lacs salés qui ont été étudiés et décrits par Poszepny, et que l'on attribue à la simple concentration très avancée des eaux douces.

Cette région Ouest forme, entre les Montagnes Rocheuses et la Sierra-Névada, un plateau dont les points les plus bas sont encore à 1 200 m. au-dessus de la mer. L'Ouest de l'Utah, le Névada, le Sud-Ouest de l'Orégon et le Nord-Est de la Californie présentent, au milieu de ce plateau, une région désertique, sans communication avec la mer, à peu près aussi grande que la France tout entière.

Dans l'Utah, par exemple, on a affaire à une série de vallées de 20 à 30 km. de large, plates et séparées par des chaînes parallèles atteignant 3 000 m. Les chaînes sont en terrains paléozoïques percés de roches éruptives; les vallées, en dépôts horizontaux très récents. Le jurassique, le crétacé et le tertiaire ancien, si développés au delà des monts Wasatch qui limitent cette région, manquent dans l'intérieur. Le peu d'eau qui tombe forme des ruisseaux, qui reviennent fréquemment sur leurs pas en passant d'une vallée à l'autre et qui ont ainsi, souvent presque sur place, un long parcours. Il semble qu'il y ait eu là autrefois plusieurs cours d'eau parallèles, dont la communication avec la mer aurait été très récemment coupée.

La région comprend quatre lacs : deux d'eau douce, l'Utah et le lac Bear ; deux salés, le Sevier et le Grand-Lac. Ce dernier occupe la dépression la plus profonde (niveau à 1 283 m.). Les lignes de rivage de ce lac salé, exactement relevées, ont été autrefois à 295 m plus haut qu'elles ne sont aujourd'hui.

On peut admettre qu'il y a eu là: d'abord un régime de vallées alpestres communiquant avec la mer ; puis obstruction de ces débouchés ; constitution d'une grande lagune où les fleuves venaient se perdre, et accumu-

[1] 1865. Bobierre. *Teneur en sel des eaux de pluie de Nancy* (C. R., t. 58, p. 755 ; Bull. Soc. Chim., t. 54, p. 467). — 1864. Virlet d'Aoust. *Sur les salines de certains lacs du Mexique* (B. S. G. F., 2e, t. 22, p. 464). — 1877. Posnepzy. *Zur Genesis der Salz Ablagerungen, besonders jener im Nord amerikanischen Westen* (Ak. d. Wissensc., t. 76). — Wheler. *Report upon explorations West of the 10e méridian*, (t. 3, p. 88). — Paikard. *Insects inhabiting the Great Salt Lake* (Sixth An. Rep. of the U. S. geol. Survey, p. 74). — 1896. Ohlmüller. Beyschlag et Hellriegel. *Versalzung der Saale und Elbe* (Z. f. pr., G., p. 67 à 79, avec 3 pl.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lation de dépôts dans les vallées. Après quoi, probablement à l'époque glaciaire, les précipitations atmosphériques devenant plus abondantes, le lac, de 300 m. plus élevé qu'aujourd'hui, aurait retrouvé un écoulement vers la mer. Mais depuis, le climat devenant sec, les eaux se sont graduellement évaporées.

Les analyses des lacs salés sont les suivantes.

TABLEAU 11. ANALYSES DES EAUX DES LACS SALÉS DE L'UTAH

	GRAND LAC SALÉ		LAC SEVIER	
	Eau	Sel	Eau	Sel
NaCl.	20,20	90,65	6,23	72,11
$MgCl^2$	0,25	1,11	1,03	»
$CaCl^2$	tr.	tr.	tr.	tr.
Na^2SO^4.	1,83	8,24	1,34	15,51
$CaSO^4$.	»	»	0,04	0,46
	22,28	100,00	8,64	100,00

Si l'on se demande d'où est venu le sel de ces lacs, on ne peut admettre, dans l'Utah, une communication ancienne avec la mer (comme dans la région aralo-caspienne) : d'abord à cause de la différence d'altitude trop grande ; ensuite à cause du manque de fossiles marins dans les couches (pour le Sud de la Californie, au contraire, cette explication serait admissible). Les formations marines cessent dans cette région avec le commencement de l'éocène et, plus le temps s'écoule ensuite, plus les dépôts sont nettement d'eau douce. Il n'existe de miocène marin que dans le centre de la Californie, et de postpliocène marin que sur la côte même de l'Océan.

D'autre part, on ne semble pas pouvoir, dans le Nevada et l'Utah, invoquer le lessivage d'amas de sel préexistants. Le seul terrain salifère qu'on y pourrait trouver, le trias, est très restreint et, en général, composé de calcaires. Le sel gemme n'existe associé avec des grès rouges que hors du rayon de la région désertique.

Par conséquent, nous avons affaire là probablement à un dépôt salin, résultant de la simple concentration des eaux douces.

L'analyse d'une eau douce quelconque renferme, en effet, toujours une certaine proportion de principes salins. C'est ainsi que Bischof a montré qu'un mètre cube d'eau prise dans un fleuve d'Europe renfermait de 100 à 300 gr. de principes solubles, dont 1 à 30 p. 100 de sel. Le Rio-Grande, à New-Mexico, contient, d'après Lœw, 157 gr., dont 28 p. 100 de sel ; le Jourdain, en Palestine, en renferme jusqu'à 1 052 gr. dont 74 p. 100 de sel.

On comprend, dès lors, très bien que les eaux, indéfiniment accumulées dans une dépression de terrains, finissent par y déposer du sel.

Poszepny a été plus loin et a cherché à se rendre compte d'où provenait ce sel des eaux douces. Pour lui, il a été emprunté à la mer par la dispersion de l'écume des vagues et mécaniquement transporté par le vent dans l'air. Il faut, en outre, invoquer les traces de chlorure de sodium que contiennent la plupart des roches cristallines, et que celles-ci cèdent aux eaux courantes.

Le Grand Lac Salé peut renfermer 4 000 000 000 t. de sel ; on peut éva-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

luer à 700 000 t. de sel la quantité apportée par les cours d'eau dans une année sur l'espace correspondant : il n'aurait donc fallu guère plus de 6 000 ans pour constituer toute cette masse de sel.

Les lacs salés du Névada sont surtout exploités pour obtenir le sel nécessaire aux procédés de chloruration des minerais argentifères.

5° INDUSTRIE DES MARAIS SALANTS

Le gisement de sel de beaucoup le plus important dans le monde est la mer, qui renferme à l'état de dissolution des quantités colossales de cette substance. Le sel est là dans des conditions analogues à celles des sources salées naturelles et artificielles, et on l'en retire de même par évaporation. Nous nous bornerons, à ce propos, à quelques considérations très générales.

Au premier abord, il semblerait que toutes les côtes des pays chauds soient susceptibles de donner des marais salants. En réalité, il n'en est rien ; on a tenté sans grand succès d'en établir en Grèce et en Algérie ; on a échoué en Crimée. Il ne suffit pas, en effet, que la chaleur solaire soit forte. Il est surtout indispensable qu'il y ait du vent et du vent sec. Les salines de l'Ouest de la France, quoique dans un pays relativement pluvieux, réussissent mieux à cause de la force du vent que celles du Nord de l'Afrique. Un des meilleurs types d'une région de marais salants, c'est la Provence, à cause de sa position, au débouché sur la mer du couloir constitué par la vallée du Rhône et de la persistance, à certains moments, du vent de mistral. Il va de soi d'ailleurs que la sécheresse du vent est un élément essentiel. La Hollande et la Belgique, qui ne possèdent pas de mines de sel, se trouvent ainsi, en outre, dans l'impossibilité de créer des marais salants.

Voici quelques chiffres donnant une idée de la production de sel par hectare de marais salants et par année :

Portugal (Setubal, Rio Sado) : 250 tonnes.
Italie (Cagliari) : 120 tonnes.
Camargue : 80 à 100 tonnes.
Ouest de la France : 25 à 30 tonnes.

Le commerce du sel se trouvant dans une situation spéciale que nous avons indiquée plus haut, les conditions atmosphériques de la saison d'été ont, chaque année, en favorisant ou arrêtant la production des marais salants concurrents, une importance extrême pour les mines de sel elles-mêmes.

En *France*, on estime qu'il y a environ 18 000 hectares de marais salants, groupés autour de deux centres principaux (les estuaires de la Loire et la Camargue, avec le Gard, l'Hérault et le Var) et 10 000 ouvriers occupés temporairement.

Leur production a été :

	1883	1907	1909
Salines de l'Ouest	130 000 t.	148 000 t.	72 000 t.
— de la Méditerranée . . .	289 000	347 000	332 000

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le prix de revient moyen du sel des marais est d'environ 17 à 18 fr.

En *Italie*, tout le sel consommé provient des salines de Cagliari (Sardaigne) ayant donné, en 1890, 170 000 t. ; de celles de Trapani (Sicile) donnant 200 000 t. et, pour une faible part, de salines établies à Civita-Vecchia, et, sur l'Adriatique, près de Venise. Ces salines font, en outre, une exportation assez forte dans les pays du Nord. A Cagliari, le sel est obtenu dans des bassins occupant 800 hectares de superficie, dont 150 pour les bassins de cristallisation [1].

En *Istrie et Dalmatie*, des salines occupent 4 400 personnes et produisent 220 000 t.

En *Portugal*, il existe trois groupes de marais salants : à Setubal sur les bords du Rio Sado, à Lisbonne, à Aveiro sur les bords du Venga.

SULFATE DE SODIUM (GLAUBÉRITE, ETC.)[2]

Le sulfate de sodium est très répandu dans la nature. On l'y exploite surtout à l'état de *glaubérite* (sulfate double de sodium et de calcium, $S^2O^8CaNa^2$); mais on connaît, en outre, la *thénardite* (sulfate de sodium anhydre), la *blœdite* (sulfate double de sodium et de magnésium $SO^4Mg.SO^4Na^2.4H^2O$). Du sulfate hydraté se rencontre dans les gîtes potassiques de Kalusz. On le retrouve dans l'eau de la mer, dans certaines sources (Karlsbad, Pullna, etc.) et dans divers lacs. La source de Karlsbad amène au jour annuellement 10 t. de sulfate de sodium et 7 t. de carbonate de sodium [3].

Dans les régions désertiques et sur les bords des lacs salés, il se produit des efflorescences de sulfate de sodium, que l'on a pu attribuer à la double décomposition du sulfate de magnésium et du chlorure de sodium mis en présence [4].

Dans le Nord de l'Espagne, les formations salifères miocènes constituent, comme nous l'avons dit, plusieurs groupes importants, notamment sur la haute vallée de l'Ebre, à l'Est de Logrono (Alcanadre, Andosilla), à Calatayud (SW. de Saragosse), enfin vers Aranjuez, au Sud de Madrid. Quelques-unes de ces zones salifères miocènes contiennent des bancs de sulfate de sodium ou de glaubérite, qui ont pu être utilisés. On cite notamment la vallée de l'Ebre (*Alcanadre, Andosilla, Calatayud, Cervera*). Une usine de carbonate avait été créée à Lodosa pour utiliser les premiers. On en a également signalé à *Cabezon de la Sal*, près de Santander. Enfin, nous

[1] Notes de voyage de 1891.

[2] Coll. Ecole des Mines, 1673. — 1857-61. J. M. De Oliveira Pimentel. *Memoria Sobre a producção do Sulfato de soda no Valcao da ilha do Fogo no Archipelago de Caboverdi* (Mem. Ac. R. d. Sc. ; classe de Sc. mat. phys. et nat., 2e série, Lisbonne). — 1866. Jacquot. *Sur la Serrania de Cuenca* (Ann. d. M., 6e, t. 9, p. 451). — 1873. A. de Areitio y Larinaya. *Cienpozuolita : nuovo sulfato de cal y soda encontrado en la mina Consuelo* (Cienpozuelos). (Ann. Soc. espan. de hist. nat., t. 2, p. 393). — 1898. Kouznetzow. *Die Glaubersalz Bildung im Karabugas Busen* (Z. f. pr. G., 1897, p. 368 1898, p. 26).

[3] Le sulfate de soude ordinaire vaut au détail 0,20 fr. le kg.

[4] Voir plus haut : p. 149, note 2, la formation du sulfate de sodium et de la glaubérite dans les lacs du gouvernement d'Astrakan et l'Adschidarja (Caspienne Est) ; en Sibérie (p. 149) ; le sulfate de sodium de Perse (p. 145) et celui du Boulouk Gueul en Lycaonie (p. 151).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pouvons décrire, comme type, le gisement de *Cien-Pozuelos* (cent puits), près d'Aranjuez.

Cien-Pozuelos. — Là, sur les flancs d'une vallée, on voit affleurer, au milieu de strates miocènes à peu près horizontales, un banc de glaubérite de 10 à 12 m. surmonté d'argiles versicolores rouge et grises encore imprégnées de glaubérite, au-dessus desquelles viennent un calcaire d'eau douce renfermant quelques bytinies et des alluvions (fig. 175).

Le gisement correspond donc à une période d'évaporation, suivie de formations lacustres.

On exploite par piliers abandonnés, en profitant de l'extrême solidité de la masse : solidité qui tient à ce que, lorsqu'une fissure se fait dans la glaubérite, elle tend aussitôt à se reformer par cristallisation du sel dissous.

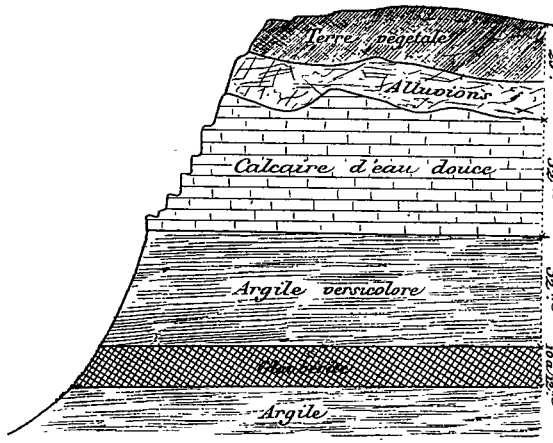


Fig. 175. — Coupe verticale du gîte de glaubérite de Cien-Pozuelos, près Aranjuez (Espagne), d'après Ed. Fuchs.

Le *traitement* très sommaire consiste à dissoudre d'abord le sulfate de sodium dans de grands bassins rectangulaires sans attaquer le sulfate de calcium; après quoi, on évapore.

La glaubérite contient 45 p. 100 de sulfate de sodium anhydre et donne environ 100 p. 100 de sulfate hydraté. L'extraction étant de 7 fr., les frais de fabrication à Cien Pozuelos de 34 fr., le sulfate de sodium revient sur place à 41 fr.

En 1888, l'Espagne produisait un millier de tonnes de sulfate de sodium divisées entre les provinces de Madrid (675 t.) ; Saragosse (212 t.); Burgos (150 t.)

CARBONATE DE SODIUM [1]

Les carbonates de sodium, *natron, trona, urao,* sont généralement des sesqui-carbonates assez impurs CO^3Na^2, nCO^3NaH. On les trouve dans les

[1] Le carbonate de soude vaut au détail : 2 fr. le kg. fondu ; 0,30 fr. en cristaux.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lacs de certaines contrées salifères, Hongrie, Égypte, Perse, Tibet, Inde, Nevada, Colombie, Venezuela, République Argentine, comme un produit d'évaporation qui se dépose en efflorescences mélangées de sel marin et de sulfate de sodium. Autrefois, c'était de ce produit qu'on extrayait une grande partie de la soude employée dans le commerce. Sa formation dans ces petits lacs a été expliquée par la réaction du sel marin sur le carbonate de calcium qui constitue leur sol. Le carbonate de sodium peut également résulter du sulfate de sodium, si la réaction inverse est empêchée par l'entraînement du sel produit.

En *Egypte*[1], on connaît divers gisements de natron, dont les principaux sont à *El Natroun*, à une centaine de kilomètres Ouest du Caire. Là, sur une série de petits lacs, se forment en été des croûtes très dures de carbonate.

D'autres lacs de natron existent en Afrique : au-dessous de *Souakim*, dans l'Érythrée, où une société Suisse a organisé une fabrique de bicarbonate de sodium ; à *Bahr el Trounia* dans le Fezzan (Sud de la Tripolitaine) et au *lac Manyara*, dans l'Afrique orientale allemande.

Certains gisements, comme celui du *Szekboden*, *en Hongrie*, contenu dans les trachytes, paraissent dus à une autre cause. On a admis que l'eau de pluie, avec l'acide carbonique de l'air, avait pu agir sur les feldspaths sodiques de certaines roches trachytiques et que cette eau, contenant le carbonate en dissolution, s'était ensuite peu à peu concentrée dans des roches poreuses.

Les *Etats-Unis* sont particulièrement riches en soude naturelle dans le grand bassin de l'Ouest. Il y a là des étendues couvertes de matières salines : carbonate et sulfate sur les bords, chlorure au centre ; sulfate prédominant à l'Est, carbonate à l'Ouest. On cite : Albert Lake (Oregon S.-E.), Mono Lake (Californie), Mono et Owens Lake (Californie, C^té^ d'Inyo), comme contenant 120 000 000 t. de carbonate de sodium et 28 000 000 t. de bicarbonate. On a exploité quelques lacs du Nevada en évaporant l'eau par phases de cristallisation successives.

[1] 1898. SCHWEINFURTH et LEWIN. *Beitr. z. Topogr. und Geochemie des Aegypt. Natronthals* (Z. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, t. 33, n° 1, 25 p. et 1 pl.). — 1903. L. DE LAUNAY. *Les Richesses minérales de l'Afrique*. p. 250 à 255 et bibl. citée. — Voir plus haut : p. 135, l'indication du carbonate de sodium au Yunnan ; p. 152 au lac de Van, p. 153 dans l'Inde.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

LITHIUM

Li = 6,94

Usages. — La lithine, sous forme de carbonate de lithium, est utilisée, depuis quelques années, en proportions relativement fortes, en thérapeutique, pour le traitement de la goutte et de la diathèse urique. Quoique ce produit ne soit administré qu'à très faibles doses (15 à 20 cgr. par jour), il a atteint, en raison de sa rareté, un prix élevé et s'est vendu longtemps, suivant le degré de sa pureté, de 40 à 50 fr. par kilogramme. Le prix au détail est (1911) de 15 fr. Il entre également un peu de lithine dans certains révélateurs photographiques. La consommation annuelle est seulement de quelques centaines de kilogrammes.

Minerais. — La lithine existe en petites quantités dans une foule de minéraux, au même titre que les autres métaux alcalins et en association avec eux[1]. Les granites à mica blanc en renferment notamment: dans leurs micas, tels que le *lépidolithe* de Bohême (4 à 6 p. 100), dans leurs feldspaths (*orthose*); dans quelques silicates alumineux à rapprocher des feldspaths comme le *triphane* ou *spodumène* (5,5 p. 100) et le *pétalite* ou *castor* (2,6 à 4,2 p. 100); dans la *tourmaline*; enfin et surtout, dans des phosphates connexes comme l'*amblygonite* (fluophosphate d'aluminium, sodium et lithium à 8 ou 9 p. 100 de lithine), la *triplite* et la *triphyline* (fluophosphates de fer, manganèse et lithium). La *phénacite*, le *béryl*, la *cryolite*, dont les conditions de gisement sont analogues, en renferment également des traces. L'association du lithium avec les granulites à mica blanc entraîne son rapprochement avec l'étain. D'autre part, Lockyer en a constaté l'existence dans l'atmosphère du soleil et Bunsen dans les météorites.

Des roches alcalines, la lithine, donnant des sels solubles, passe aisément dans les eaux minérales des régions granitiques, où l'on a noté sa présence avec un soin particulier et, par les eaux superficielles, elle arrive à la mer. Enfin elle s'introduit tout naturellement dans les végétaux et les tissus animaux.

Etant donnée la rareté des divers minéraux lithinifères, on n'exploite industriellement que les micas lépidolithes et l'amblygonite.

Lépidolithe. — Les lépidolithes, reconnaissables à leur teinte violacée,

[1] On a noté sa présence dans 139 minéraux. — 1879. DIEULAFAIT. (J. Pharm. Ch., 4e, t. 30, p. 45). — 1882. DIEULAFAIT. *Existence de la lithine et de l'acide borique en proportions notables dans les eaux de la mer Morte* (C. R., t. 94, nos 16 à 24, p. 1352. 17 avril et 12 juin).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

peuvent être recherchés sur les haldes de certains gisements stannifères. On en a recueilli ainsi dans les haldes des mines de Saxe et de Bohême (Zinnwald, etc.). On en a fait une petite exploitation à Chédeville, près de Saint-Sylvestre, dans la Haute-Vienne. Une exploitation analogue existe en Moravie et une autre dans le Nord du Portugal. D'autres gisements sont connus à Uto (Suède), à Paris (État du Maine), à Pala-Alta (Californie). Ces micas lithinifères renferment parfois, à l'état microscopique, un peu de cassitérite, où l'acide stannique semble se substituer à la silice[1].

Amblygonite[2]. — L'amblygonite est connue à l'état minéralogique dans le Maine (Etats-Unis), à Arendal (Norvège), en Saxe. Elle est un peu exploitée dans le South Dakota à Keystone. On en fait, depuis 1886, une exploitation plus importante à *Montebras* (Creuse), où l'amblygonite forme des veines filoniennes qui passent à des veines d'apatite, ou, d'autre part, à des filons de cassitérite, dans une granulite porphyroïde, contenant elle-même 0,51 p. 100 de lithine. L'amblygonite fait ici partie d'un ensemble de minéraux phosphatés qui, outre l'apatite, comprennent la montebrasite, la wawellite et la turquoise. Elle se trouve dans un groupe pegmatoïde à très gros éléments et se présente en masses qui se distinguent du feldspath par leur teinte violacée particulière. Cette amblygonite de Montebras est vendue surtout comme minerai de lithine ; mais on l'utilise aussi comme phosphate pour obtenir certaines couleurs vitrifiables, notamment un jaune et un rouge rubis qui s'éteignent un peu avec le phosphate de calcium, plus généralement employé à cet usage. On extrayait, il y a quelques années, dans la Creuse, environ 100 t. d'amblygonite valant à peu près 1 000 fr. la tonne ; mais, depuis, la valeur a baissé entre 150 et 200 fr. En 1909, on a retrouvé de l'amblygonite avec de l'étain dans le district de *Coolgardie* en Australie. Nous en avons signalé précédemment dans les mêmes conditions, près de *Caceres* (Espagne).

Triphane. — Aux Etats-Unis, il y a une exploitation de spodumène (triphane) dans le South Dakota à *Keystone* et une autre mine de lithine de faible importance en Californie (comté de San Diego). La production totale de minerais de lithine à 5-8 p. 100 a été, aux Etats-Unis, de 1 245 t. en 1902 et seulement de 530 t. en 1907. Elle varie beaucoup suivant les années.

En 1907, le district de Keystone a produit 200 t. de spodumène (mine Etta) et 240 t. d'amblygonite (mine Providence), d'une valeur moyenne de 100 fr. la tonne.

[1] Coll. Ecole des Mines, n° 2320. (Chèdeville) ; 2912. (Nord du Portugal). — Voir le traitement dans MOISSAN. *Chim. Min.*, t. 3, p. 483 et 1908. W. SCHIEFFELIN et CAPPON (Journ. Soc. Chem. Ind., 15 juin, p. 549).

[2] Coll. Ecole des Mines, n° 1805. — 1879. S.-L. PENFIELD. *Chemical composition of Amblygonite* (Am. J. Soc., of Sc., juillet-septembre p. 295, Newhaven). — L. DE LAUNAY. *Feuille de Montluçon* au 1/80.000 (1842) et *note sur la vallée du Cher dans la région de Montluçon* (B. cart. géol., avril 92) ; 1900. *Excursion à quelques gîtes minéraux du Plateau Central* (Congrès géologique international, 1900 p. 10) ; *Une mine de lithine en France* (La Nature, 15 juin, 1901 n° 1464). — 1909. F. L. HESS. *Min. Res. form.* 1909. (U. S. geol. Surv.). — Voir plus haut t. 2, p. 35, au chapitre de l'Etain.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXXII

CALCIUM

Ca = 40,09

PIERRES DE CONSTRUCTION — CALCAIRES A CHAUX ET A CIMENT — CRAIES — PIERRES LITHOGRAPHIQUES — MARBRES — SULFATE DE CALCIUM

Usages. — La chaux et les composés du calcium sont utilisés sous les formes suivantes[1] :

Chaux caustique : fabrication du mortier, fait de chaux éteinte délayée dans l'eau et mélangée de sable ; gonflage des peaux en tannerie ; défécation des jus sucrés dans la fabrication du sucre ; précipitation de la potasse, de la soude et de l'ammoniaque dans les laboratoires. On l'obtient en partant du carbonate.

Chlorure de calcium (déshydratant), obtenu en partant du carbonate.

Hypochlorite de calcium (chlorure de chaux) : blanchiment des toiles, de la pâte de papier, fabrication des toiles peintes, etc.

Fluorure de calcium (fluorine), (étudié au chapitre du *Fluor*[2]).

Carbonate de calcium : pierre de construction, pierre à chaux ou à ciment, blanc d'Espagne, craie, pierre lithographique, marbre, etc.

Sulfate de calcium (plâtre et albâtre) ; moulages, enduits, stucs, etc.

Phosphate de calcium (étudié au chapitre du *Phosphore*[3]).

Rôle géologique et minerais. — La teneur moyenne en calcium des roches terrestres est de 3,50, ce qui correspond à 4,80 de chaux. Cette chaux est presque totalement à l'état de silicates complexes, sauf 0,1 p. 100 de carbonate et de phosphate. Mais, dans la décomposition des roches, la chaux se combine, avec l'acide carbonique de l'air et des eaux superficielles, ou avec l'acide sulfurique, dont l'origine principale est dans la pyrite, pour former des carbonates et sulfates, en même temps que le phosphate se dissout dans ces mêmes acides et dans quelques acides organiques. Ces sels solubles peuvent être, plus tard, chimiquement reprécipités, soit par évaporation (sulfate), soit par dégagement de l'excès d'acide carbonique (carbonate et phosphate). On les retrouve dans les gangues filoniennes, à l'occasion desquelles se pose un pro-

[1] 1894. *Chaux et sels de chaux.* 1 vol. in-8° chez Baudry.

[2] Tome 1, pages 306 à 314.

[3] Tome 1, chapitre XIX.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

blème intéressant, étudié plus haut[1]. Enfin les êtres organisés constituent, comme nous allons le dire, les terrains calcaires.

En dehors du phosphate de calcium et de la fluorine déjà étudiés, les sels de calcium donnant lieu à une exploitation sont le carbonate et le sulfate, dont nous allons décrire les gisements.

CARBONATE DE CALCIUM

Origine des terrains calcaires. — Les calcaires, dans l'état actuel où ils se présentent à nous, ont, pour la plupart, subi des actions secondaires de redissolution partielle et de recristallisation, qui les ont modifiés. Ces actions, dont il a été question ailleurs[2], ont pour effet, tantôt simplement de développer, d'augmenter la cristallinité (calcaires compacts et lithographiques, marbres, etc.), tantôt de forcer la teneur en magnésium, tantôt enfin de dissoudre une partie du carbonate de calcium pour aboutir à l'isolement des argiles incluses.

Si on remonte au moment de son dépôt originel, le calcaire paraît avoir été, avant tout, constitué par l'intervention des organismes (accumulation de coquilles, fixation par des algues ou récifs construits). Nous sommes de plus en plus portés à réduire la part autrefois attribuée dans cette formation sédimentaire, de même que dans la plupart des autres, à une précipitation directe par concentration, par saturation, qui, sauf dans des bassins d'évaporation restreints et pour des substances très abondantes comme les sels alcalins, a dû dans la plupart des cas, peu intervenir. Le phénomène chimique semble, dans les dépôts marins, borné à un remaniement presque immédiat de carbonate une première fois précipité (oolithes, etc.) ; dans les sédiments lacustres, on considère en général sa part comme un peu plus forte ; il ne prend réellement d'importance que dans les formations continentales. Cela tient surtout à ce que l'action de l'air libre intervient beaucoup dans cette recristallisation. D'où la transformation rapide des sédiments littoraux susceptibles d'être exondés à marée basse, des récifs coralliens en partie émergés, des vases lacustres momentanément laissées à sec, ou surtout des dépôts absolument superficiels, comme les veines de calcite dans un terrain fissuré et les stalactites, tandis que les craies de mers relativement profondes ont beaucoup plus gardé leur faciès organisé.

Si nous envisageons d'abord les conditions ordinaires du dépôt, on voit que tout organisme, par le fait seul de son activité vitale, a pour effet de fixer une certaine proportion de chaux empruntée au bicarbonate et surtout au sulfate des eaux[3] : proportion qui peut se grouper aussitôt pour les êtres vivant en colonies, ou les algues calcaires, qui, pour les autres, se précipite après la mort en se mélangeant avec une proportion de sédiments terrigènes plus ou moins considérable suivant l'état

[1] Tome 1, pages 134 à 137.

[2] *Science géologique*, chapitre X et plus haut f. 1, p. 67 et 79 à 183.

[3] L'acide sulfurique forme, en même temps, du sulfate d'ammoniaque, qui, réduit par les matières organiques, peut contribuer à la précipitation du sulfure de fer. Plus tard, si cette pyrite se trouve exposée à l'air, elle reproduira des sulfates solubles, qui pourront en partie retourner à la mer.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des courants et la distance des rivages, et qui subit alors certaines modifications chimiques immédiates, sur lesquelles nous allons revenir. Il est rare, même dans un sable littoral, qu'il n'intervienne pas une certaine proportion de coquilles broyées ; ces coquilles se retrouvent mieux conservées dans les argiles : d'où la teneur en calcaire de la plupart des grès et des argiles. Dans d'autres conditions où les organismes calcaires dominent au contraire, il intervient encore un peu de sédiment argileux. C'est pourquoi la plupart des calcaires, lorsqu'ils ne se sont pas trouvés épurés par recristallisation, renferment de l'argile qui est souvent difficile à distinguer même au microscope, mais que des procédés de coloration artificielle permettent aujourd'hui d'apercevoir et qui, de toutes façons, se trouve mise en évidence par l'altération superficielle, où se constituent les couches argileuses des plateaux.

Il est inutile d'insister ici sur l'origine organique de terrains calcaires, pour lesquels tout le monde est d'accord. On sait que le carbonate d'ammoniaque, produit par les excrétions et décompositions organiques, contribue à fixer sur les êtres vivants le carbonate de calcium, surtout dans les eaux chaudes tropicales et dans les eaux pures, tandis que les eaux froides et les eaux impures donnent surtout des organismes siliceux. Non loin des points émergés, les colonies de Zoanthaires, Hydrozoaires, Bryozoaires, les Algues calcaires (Lithothamnium, etc.) forment des calcaires construits, très rapidement recristallisés ensuite. Puis viennent les calcaires à entroques formés d'un entassement de pièces de Crinoïdes, les calcaires à Diplopores, à Fusulines, à Nummulites, à Alvéolines, etc., les craies blanches faites de Bryozoaires, Échinides, Lamellibranches, etc. Plus profondément, jusqu'à 4 000 m. environ, s'accumulent les boues à Globigérines et à Ptéropodes. Quand la profondeur devient plus grande encore, on admet que les organismes calcaires se dissolvent avant d'atteindre le fond. Mais, à côté de ces cas incontestables, on cite d'ordinaire, comme dépôt chimique, les oolithes calcaires qui abondent surtout autour des récifs coralliens dans une zone riche en débris calcaires remaniés ; ces oolithes semblent, en réalité, le produit d'une remise en mouvement opérée presque sur place en eau chaude peu profonde, sous l'influence de l'agitation et peut-être avec intervention des algues. C'est le lait de corail, produit par la trituration, qui se redissout partiellement et se concrétionne. De même dans le calcaire lacustre, pour laquelle on admet généralement la prédominance des effets chimiques, le rôle des algues calcaires semble avoir été au début fort important et, si on le distingue mal, c'est que la recristallisation a été immédiate.

A. PIERRES DE CONSTRUCTION CALCAIRES

Nous avons dit plus haut quelques mots des pierres de construction siliceuses. Mais la grande source de pierres de taille en France, ce sont les calcaires et, spécialement, ceux des étages secondaire et tertiaire, qui entrent certainement pour les neuf dixièmes dans les constructions. Dans le bassin de Paris, en particulier, où le jurassique, le crétacé et le tertiaire forment trois zones successives, on trouve, sur chacune d'elles, une série de car-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rières importantes dont nous rappellerons les principales et, comme on l'a remarqué depuis longtemps, la situation de Paris s'est trouvée, dès l'origine, géologiquement désignée pour recevoir une grande agglomération : par sa position d'abord au centre du bassin, au confluent de toutes les voies naturelles débouchant des divers points de la France qui y facilitent la concentration de toutes les substances utiles, puis par l'excellence des matériaux, pierre et plâtre qui s'y trouvaient en abondance extrême et qu'il a suffi de sortir du sous-sol ou d'emprunter plus tard à des zones concentriques de plus en plus éloignées [1].

Qualités principales. — Les calcaires employés en construction ne sont pas seulement composés de calcium ; ils contiennent, en outre, de l'argile, de la silice, de l'oxyde de fer, du carbonate de magnésium, etc., en proportions extrêmement variables.

Leur dureté, leur poids, leur résistance à l'écrasement, etc., varient également beaucoup en conséquence.

Le poids au mètre cube, pour les pierres de taille, oscille entre 1 400 et 2 800 kg.

La résistance à l'écrasement est à peu près proportionnelle à la densité. une pierre dure, sciée à l'eau et un grès, qui pèse de 2 100 à 2 800 kg., porte sans s'écraser jusqu'à 1 200 kg. au centimètre carré, tandis qu'une pierre tendre, qui se débite à la scie à dents, pèse de 1 400 à 2 200 kg. et résiste à des efforts de 20 à 220 kg.

Les *qualités* des pierres calcaires sont, en présentant une densité et une résistance suffisantes, de se laisser facilement travailler. Il faut aussi qu'on puisse obtenir des blocs de grandes dimensions.

On distingue : les pierres dures et tendres ; les pierres de liais et les roches ; les pierres sèches et gélives ; les pierres de libage et les pierres nettes ou franches.

La *pierre dure* ne se laisse scier qu'avec une scie sans dents, en interposant du sable à grain fin entre la scie et la pierre ; la *pierre tendre* se laisse scier par la scie à dents. La pierre de *liais* a un grain fin, homogène, et est exempte de corps étrangers ; la *roche*, au contraire, contient des grains de mica, de quartz, etc., qui en diminuent la valeur.

Les *pierres gélives* sont celles qui retiennent en elles une certaine quantité d'humidité et qui, par suite, se fendent à la gelée.

Les *pierres de libage* sont celles d'une vilaine couleur ou à grain grossier qu'on emploie pour les fondations et les caves ; les *pierres nettes* ou *franches* sont, au contraire, celles qu'on met en évidence.

L'*essai d'une pierre* comprend l'appréciation de sa dureté à la scie, la mesure de sa résistance en comprimant un cube de dimensions déterminées à la presse hydraulique, l'examen de sa gélivité en la soumettant pendant une demi-heure environ à une dissolution bouillante et saturée de sulfate de soude, puis retirant pour laisser cristalliser et replongeant de nouveau dans la liqueur pendant cinq ou six jours.

Statistique. — La statistique française, à laquelle nous nous bornerons, donne, pour l'extraction des matériaux de construction en 1907 :

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

1 145 000 t. de pierre de taille tendre (575 000 m³) à 19 fr. le m³ sur place ; 1 240 000 t. (540 000 m³) de pierre de taille dure à 40 fr. le m³ ; 121 000 t. de marbre (45 000 m³) à 37 fr. le m³ ; 7 319 000 t. de moellons ; 514 000 t. de chaux grasse ; 1 995 000 t. de chaux hydraulique ; 1 253 000 t. de ciment. Ces chiffres doivent être considérés comme très approximatifs.

La même année, les carrières à ciel ouvert ont occupé 109 000 hommes et les carrières souterraines 22 500. La France a exporté (différence entre les exportations et importations) 107 000 t. de pierre de construction brute, 132 000 t. de chaux hydraulique, 342 000 t. de ciment et 112 000 t. de craie. Elle a, au contraire, importé de la chaux ordinaire (256 000 t.), des pierres taillées ou sciées (26 000 t.), des marbres (37 000 t.).

Classement par ordre géologique. — Citons brièvement, par ordre d'âge géologique, du jurassique au tertiaire, les principales pierres calcaires usitées en France.

L'*hettangien* (21) comprend les calcaires dits foie de veau en Bourgogne (au milieu desquels se trouve le minerai de fer du Creusot), et le calcaire pavé de Saint-Amand.

Le *sinémurien* (22) (calcaire à gryphées arquées), est exploité sous le nom de pierre noire des carriers.

Le *toarcien* (24), qui donne la pierre à ciment de Vassy, près d'Avallon, et celle de Thisy, fournit les calcaires de Thouars dans le Poitou, etc.

Le *bajocien* (25) donne la pierre de taille jaune de Dom-le-Mesnil, près Sedan ; les moellons de Connage ; la pierre de taille de Chémery et de Boulzicourt dans l'Ardennes ; la pierre de la Grenouille (près du Guétin, Nièvre) ; les grès à pavés de Niort ; le beau calcaire blanc de Chauvigny (Vienne).

Dans le *bathonien* (26), nous rencontrons : la belle pierre à grain fin de Sampans, près Dôle (Jura), qui a servi dans la construction du Nouvel Opéra et du Palais du Trocadéro ; les calcaires compacts de Comblanchien et de Ravières (Côte-d'Or). Au même niveau, se trouvent la pierre fine et propre à la sculpture d'Apremont et de Charly ; les pierres oolithiques de la Celle-Bruère, Vallenay, Lignières, Ambrault dans le Berry, et des carrières d'Allemagne, près Caen.

Cette dernière pierre, d'une réputation séculaire, a servi pour la construction de nombreuses églises gothiques en Normandie et à l'étranger. On l'a utilisée à la cathédrale de Cologne, à celle de Cantorbéry, au palais du Parlement et à l'abbaye de Westminster à Londres, à la Tour de Londres, à l'église Saint-Georges de New-York, etc.

Le calcaire de Caen pèse de 1 900 à 2 000 kg le m³, résiste à des charges de 160 à 200 kg. par cm². et coûte en moyenne 20 fr. le m³ sur place.

Le *callovien* (27) est représenté par le calcaire blanc de Pougues (Nièvre) ; l'*oxfordien* (28) sous la forme d'un calcaire à entroques, par les belles pierres d'*Euville* et *Lérouville* (Meuse), qui ont été employées sous l'Empire aux travaux des Tuileries et à la construction des ponts de Paris, de la Charité (Nièvre), etc. (pierre de construction et pierre marbrière). On trouve, à ce même niveau, des calcaires à chaux hydraulique près de Besançon, des calcaires à ciment à Marins (Charente).

[1] Nivoit. *Géologie*, p. 512. — Darras. *La Marbrerie*, p. 37 à 42.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La base du *séquanien* (29) fournit les célèbres calcaires à grain fin de Saint-Ylie et de Damparis près Dôle (Jura), qui ont été employés à Paris dans la construction des ponts Saint-Michel et de Solférino, pour le socle du palais des Beaux-Arts, pour l'église de la Trinité, etc.

Ces carrières, heureusement situées sur les bords du canal du Rhône au Rhin, ont un grand développement. La pierre, qui pèse 2 700 kg. et s'écrase sous des charges de 765 à 870 kg. coûte 40 fr. le m³, 60 fr. à Lyon et 100 fr. à Paris, tous droits payés.

C'est également dans le séquanien que sont situées les carrières de Tonnerre en Bourgogne (Yonne), où des bancs de 15 à 20 m. d'épaisseur fournissent, par an, 3 à 4 000 m³ de pierre.

La pierre de Tonnerre est très compacte, homogène, se laisse scier facilement et s'emploie surtout en carrelages et en dallages, dont le prix varie de 8,50 à 12,50 fr. le mètre carré à Paris. On en expédie dans toute la France et même en Angleterre, en Belgique, aux Etats-Unis.

Le long de la vallée de la Meuse, le séquanien, forme une assise coralligène, haute de 100 m., qui fournit également d'excellentes pierres.

Dans le *portlandien* (31), nous avons les pierres à bâtir du Bas-Boulonnais, les bancs d'oolithe, dite vacuolaire, exploitée à Chevillon dans l'Ardennes, les calcaires blancs de l'Echaillon (Isère) employés dans les groupes qui décorent la façade de l'Opéra de Paris.

Les exploitations du crétacé dans le bassin Parisien portent surtout sur des craies, qui fournissent en général des matériaux de construction secondaires.

Les craies à silex du *cénomanien* (36) donnent lieu à quelques exploitations en Normandie ; on exploite également dans l'Est, à Couvrot, des calcaires marneux cénomaniens pour chaux hydraulique.

La craie-tuffeau *turonienne* (37), qui est d'un prix très faible, est très employée en Touraine.

Dans le bassin de la Garonne, le turonien supérieur (angoumien) (37) fournit, sous la forme de calcaire à rudistes, l'important niveau de pierre de taille d'Angoulême, Périgueux, Chancelade.

On exploite par carrières souterraines la craie *emschérienne* (38) de Sens (Yonne), les craies dures de Marle et de Montcornet, la craie de la Faloise, en Picardie, et le même niveau fournit en Champagne des couches de blanc d'Espagne.

Le *danien* (40) fournit le calcaire pisolithique de Meudon.

Dans le tertiaire, l'*éocène* comprend le niveau du *calcaire grossier* lutétien (44) qui fournit : la pierre de taille du Soissonnais et du Laonnais (Festieux, Mont-Ganelon), dite pierre à liards à cause de l'abondance des nummulites ; le banc à verrains (cerithium giganteum) formant, à son tour, la pierre du banc Saint-Jacques, celle de Crépy et de Villers-Cotteret ; la pierre de taille du Vexin français (à Chérence, Vallangoujard, Saillancourt) ; les lambourdes et la pierre à chaux de Mont-l'Evêque près de Senlis. C'est surtout au niveau du calcaire grossier qu'est empruntée la pierre de construction de Paris.

Le calcaire de Saint-Ouen, *bartonien* (45), n'est guère exploité que pour empierrement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dans l'assise du gypse *sannoisien* (46), on trouve, à Champigny, un travertin exploité pour pierre à chaux.

Le calcaire de la Brie, *oligocène inférieur* (46) fournit les meulières siliceuses de la Ferté-sous-Jouarre et, au même niveau, se trouve le calcaire de Château-Landon et de Souppes, pierre de taille remarquable avec laquelle on a fait l'Arc de Triomphe et la crypte de l'église de Montmartre.

Dans l'*aquitanien* (48) nous trouvons le calcaire de Beauce avec les meulières de Villers-Cotteret, Montmorency, Rambouillet, Epernon, Palaiseau, les moellons de Beaune-la-Rolande et Montargis.

B. CALCAIRES A CHAUX ET A CIMENT[1]

La cuisson du calcaire donne la *chaux* employée, avec du sable et de l'eau, à la fabrication des *mortiers*[2].

Suivant la proportion d'argile contenue, on a des chaux de nature différente.

Au-dessous de 5 p. 100 d'argile, on a de la *chaux grasse*, ainsi nommée parce qu'elle a la propriété de former, avec une quantité d'eau suffisante, une pâte grasse et foisonnante.

Les calcaires, qui renferment de 5 à 12 p. 100 d'argile, fournissent une *chaux maigre* donnant une pâte sans liant et sans onctuosité.

Avec une proportion d'argile variant de 12 à 20 p. 100, le calcaire donne de la *chaux hydraulique*, qui jouit de la faculté de durcir sous l'eau.

Les calcaires tenant de 20 à 25 p. 100 d'argile fournissent des produits variables, qui font prise, mais ne tardent pas à tomber en poussière au bout d'un ou deux jours. Quand la température a été élevée jusqu'à produire une vitrification partielle, ces produits ont encore plus d'hydraulicité que la chaux proprement dite. C'est de la chaux-limite ou *ciment à portland*, faisant prise au bout d'une douzaine d'heures.

De 25 à 30 p. 100, la calcination modérée du calcaire donne des *ciments romains* à prise rapide.

De 30 à 40 p. 100 d'argile, on a encore des ciments, mais de qualité généralement médiocre.

Enfin, au delà de 40 p. 100, on peut obtenir des *pouzzolanes artificielles*, qui, réduites en poudre et mélangées à la chaux grasse, forment une pâte durcissant sous l'eau.

Les conditions nécessaires à la fabrication de la *chaux hydraulique* sont assez facilement réalisées, pourvu que la proportion d'argile initiale soit bien exactement celle qui convient; car on peut à la rigueur, après avoir éteint, séparer par un blutage les parties défectueuses ; l'installation est fort simple.

Les *ciments artificiels à prise lente* peuvent se faire avec la plupart des

[1] Voir Coll. Ecole des Mines, 1886 à 1890. — 1885. Decœur. *Chaux hydraulique de Teil* (Ardèche) (Ind. Min., 2e, t. 14, p. 411 et 473). — Le Chatelier. *Cours de Chimie industrielle à l'Ecole des Mines* (autographié).

[2] Le silicate de calcium est l'élément hydraulique essentiel de tous les ciments.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

calcaires, pourvu qu'ils ne soient pas magnésiens (qu'ils ne tiennent pas plus de 4 p. 100 de dolomie). C'est un mélange artificiel renfermant 21 p. 100 de ce que l'on appelle « argile », c'est-à-dire de silice, alumine et oxyde de fer. A *Boulogne*, on trouve, dans le terrain crétacé, des marnes calcaires renfermant 12 à 25 p. 100 d'argile très pure. On mélange à de la chaux pour arriver à la proportion voulue. A *Paris*, on emploie, pour le mélange, de l'argile plastique qui tient 60 à 70 p. 100 d'argile chimique. A la *Grande-Chartreuse*, on utilise directement des calcaires bitumineux riches en argile. Mais cette fabrication nécessite une installation compliquée ; car il est essentiel de broyer très fin pour avoir un produit bien homogène qui ne gonfle pas dans la construction : ce qui nécessite une force motrice notable, des broyeurs, malaxeurs ; de plus, on a besoin de fours de cuisson spéciaux permettant d'atteindre à peu près la température de fusion du fer, d'un laboratoire, etc.

Quant aux *ciments à prise rapide*, on se heurte à des problèmes encore assez obscurs et, en fait, on n'en réussit guère la préparation en France qu'à *Vassy-Avallon* (Yonne) et à *Grenoble* (*Porte de France*) dans l'Isère

Voici deux compositions de calcaires employés à cet usage :

TABLEAU 12. — ANALYSES DES CALCAIRES A CIMENT

LOCALITÉS	SILICE	ALUMINE	SESQUIOXYDE de fer	CHAUX magnésie	SULFATE de calcium	EAU ET ACIDE carbonique
Vassy.	20	8	6	53	3	10
Porte de France.	22	11	6	55	4	2

Ces ciments s'obtiennent par la cuisson à une température très basse, juste suffisante pour décarbonater la chaux, de calcaires très alumineux et tenant une forte proportion de sulfate de calcium qui semble jouer un rôle dans les qualités du ciment.

Nous nous contenterons de mentionner comme niveaux géologiques des calcaires à ciment français :

Rhétien (20) : ciment noir de Pouilly, en Bourgogne ;

Toarcien (24) : Vassy ;

Portlandien (31) : Boulogne (Portland), etc. ;

Néocomien (32) : Saint-Victor (Gard), etc.

C. CRAIE ET BLANC D'ESPAGNE[1]

Usages. — On utilise, sous le nom de *craie*[1], pour la fabrication des crayons, et, sous celui de *blanc d'Espagne*, pour la peinture à la détrempe, la préparation des couleurs, le nettoyage des objets de verre et de métal, la fabrication du mastic de vitrier, etc., certains calcaires crétacés spéciaux, appartenant pour la plupart à l'étage sénonien (craie blanche). En

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1890. Craie vient de Creta ; les romains tiraient, en effet, la craie de l'île de Crète.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

1907, la statistique française mentionne une production de 64.000 t. de craie délayée et agglomérée à 13,30 fr. la tonne.

Géologie. — L'étage sénonien, qui atteint 360 m. d'épaisseur dans les puits artésiens de Paris, comprend les subdivisions suivantes :

Aturien, ou sénonien supérieur (39)	Dordonien. Craie à Belemnitella mucronata. — Craie de Meudon, Ciply.
	Campanien. Craie à Act. quadratus. — Craie de Reims, Chaumont.
Emschérien, ou sénonien inférieur (38)	Santonien. Craie à Micraster coranguinum. — Craie de Chartres, Margate, etc.
	Coniacien. Craie à Micraster cortestudinarium. — Craie de Douvres.

La craie blanche traçante est surtout développée dans la partie supérieure de l'étage, à Meudon et à Bougival. On la retrouve à la côte de Canteleu près de Rouen, à Gisors, à Mantes, aux environs du camp de Châlons, près Troyes, etc.

Suivant la localité dont elle provient, elle porte, dans le commerce, les noms de blanc de Bougival, blanc de Meudon, blanc de Champagne ou de Troyes, blanc d'Espagne.

Nous nous contenterons de quelques indications sur les gisements de Meudon.

Gisement de Meudon. — A Meudon, la craie traçante se termine au sommet par une assise durcie à tubulures végétales, sur laquelle viennent les calcaires pisolithiques et les marnes dites strontianifères du danien.

La hauteur de craie disponible en face de la machine de Port-Marly est de 20 m. Elle est limitée au bas par le niveau hydrostatique de la Seine. Son apparition est liée à un bombement très marqué en ce point.

La craie est transportée par bateaux et exportée même à l'étranger. Généralement, on lui fait subir un traitement sur place. On la met en digestion dans l'eau et on l'agite ; les spicules siliceux tombent au fond ; on décante la bouillie et on sèche à l'air. Avec les parties pures, on forme les matériaux de traçage ; avec les parties impures mélangées à l'argile plastique qui surmonte la craie, on peut obtenir, en outre, artificiellement une bonne pierre à ciment.

La craie de Meudon, à cause de sa pureté, fournit 80 p. 100 de blanc (en volume) à la densité de 1,2, pesant 1 200 kg. le m³. Le rendement en poids à l'hectare peut, par suite, être évalué en gros à 100 000 t.

D. PIERRES LITHOGRAPHIQUES

Usages. — L'illustration des livres n'emploie plus guère aujourd'hui la lithographie ; et, d'autre part, bien des tirages en noir ou en couleur, qui se faisaient autrefois par la lithographie sur pierre, se font maintenant par la lithographie sur zinc plus économique et moins encombrante. Néanmoins, l'art de la lithographie a eu dernièrement une sorte de renaissance et il subsiste un emploi industriel important de la lithographie sur pierre

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pour les affiches illustrées, dont le mauvais papier, la mauvaise encre, etc., se prêtent mal au tirage sur zinc (si ce n'est en typographie). Cette industrie nécessite des pierres de grande dimension qui, seules, ont une valeur élevée : les pierres de petite taille étant fournies par la rupture des grandes sous la presse. En 1907, la France a importé 561 t. de pierre lithographique.

Propriétés. — Un calcaire, pour être propre à la lithographie, doit présenter des qualités toutes particulières, beaucoup plus rarement réalisées qu'on ne le croit en général. Il doit être compact avec un certain commencement de cristallinité, qui ne doit pourtant pas être trop sensible. Le poli doit être tel que la pierre garde un peu de porosité. En outre, il faut une homogénéité absolue de substance, une composition comprise entre des limites très restreintes, une teneur d'au moins 5 à 6 p. 100 de silice et d'argile. Si la silice n'est pas accompagnée d'argile, les pierres sont trop fragiles et trop dures au burin ; si l'argile n'est pas mélangée de silice, les pierres deviennent trop tendres. Les belles pierres tiennent environ 2 à 3 p. 100 de silice et autant d'argile. Ce n'est pas tout encore : un calcaire, qui présenterait des fissures de retrait avec cristallisations de calcite, serait sans valeur. Même des pierres, qui semblent absolument intactes au premier abord, renferment souvent intérieurement des fissures cachées, des directions de cassure qui les feraient éclater sous la presse. Cela est particulièrement sensible dans les terrains ayant subi, après leur dépôt, des mouvements géologiques.

Pour essayer une pierre, on peut l'humecter avec l'haleine. La buée doit disparaître très vite du bord au centre et en formant constamment une figure semblable à elle-même. S'il y avait des fissures cachées, la buée s'allongerait le long de ces fissures.

On doit, en outre, examiner avec soin à la loupe et essayer la résistance à l'écrasement.

Le gisement, de beaucoup le plus important, et le seul qui ait donné lieu à une exploitation considérable, est celui de Solenhofen en Bavière, que nous allons décrire ; on a également essayé d'exploiter les pierres du Vigan [1], de Diano Marina en Ligurie, etc.

Les calcaires lithographiques non utilisables pour une raison quelconque sont très fréquents. Nous citerons : le callovien (27) des Causses (Rocamadour, etc.) ; le séquanien (29), en Lorraine entre Commercy et Neufchâteau, dans l'Yonne, dans le Berry (vallée de l'Indre et Sancerre) ; le danien (40) des Corbières, etc. La tentative faite à Diano Marina portait sur du crétacé très disloqué. Géologiquement, comme nous allons le voir, les conditions de dépôt qui ont donné des pierres lithographiques semblent avoir été celle de lagunes particulièrement tranquilles et peu profondes, souvent protégées par des ceintures de récifs coralliens : d'où alternance fréquente avec des facies oolithiques ou coralligènes.

[1] Coll. Ec. des Mines, 1895.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

GISEMENT DE SOLENHOFEN[1]

Géologie. — Les pierres lithographiques de Solenhofen, près Eichstädt, en Bavière, appartiennent à la base du portlandien (31). Leurs bancs garnissent des sortes de dépressions au sommet des dolomies kimeridgiennes de Franconie, sur une épaisseur de 25 à 30 m. Ces calcaires schisteux présentent des qualités exceptionnelles de finesse et d'égalité de grain, attribuées à un dépôt particulièrement tranquille, à l'état de vase impalpable dans des anses en voie d'asséchement. Les mêmes qualités qui ont préparé leurs propriétés lithographiques ont permis la merveilleuse conservation des restes organiques (Archœopteryx, Pterodactylus, Rhamphorynchus, poissons, araignées, libellules, crustacés, céphalopodes avec leur poche à encre, méduses, astéries, etc.). Le niveau étant situé au sommet d'un plateau découpé par des vallées profondes de 200 à 300 m., il en résulte un grand développement des affleurements, sur lesquels se sont ouvertes de nombreuses carrières, parmi lesquelles nous citerons Solenhofensbrüche, Mornsheimbruch, Maxbruch, Haardtbruch, etc.

Par exemple, à Solenhofensbrüche, on a d'immenses excavations alignées sur 1 000 m. de longueur sur le versant Ouest du ravin de Solenhofen. Le front de taille atteint 40 m. de haut.

Les couches utilisables sont essentiellement irrégulières. Elles sont, en général, peu épaisses : 16 à 18 cm. (ce qui n'est pas un inconvénient), n'ont aucune continuité en plan et sont très irrégulièrement réparties sur la hauteur de la formation. Leur allure n'est pas non plus bien réglée : tantôt elles sont horizontales, tantôt elles plongent de 16 à 20° vers l'intérieur de la montagne (quelquefois de 60°) ; il y a beaucoup de plissements locaux, de grandes failles avec rejets importants, et souvent des vides, formés par les eaux, sur les parois desquels se trouvent des stalactites et des enduits de carbonate de chaux cristallisé.

Industrie. — L'exploitation, qui n'a lieu qu'en été, se fait par gradins droits. On commence par nettoyer parfaitement les bancs qu'on a reconnus comme étant utilisables par leur tranche, de manière à se rendre compte des fentes qui existent et qui délimitent les morceaux et à obtenir des pierres aussi grandes que possible. On détache les pierres en enfonçant des coins sur les côtés et en dessous. Les fentes sont, en général, très abondantes dans les parties schisteuses et s'arrêtent souvent dans les parties compactes. Les pierres obtenues varient, en épaisseur, de 1,5 cm. à 16 cm. Les dimensions et la finesse du grain indiquent si on peut les utiliser comme pierres lithographiques, comme dalles, ou comme ardoises.

Si les pierres destinées à être polies ont plus de 0,10 m. d'épaisseur, on les ramène à cette épaisseur au ciseau et au marteau en s'efforçant d'obtenir une pierre double (polie des deux côtés) si la finesse du grain le permet.

[1] Coll. Ecole des Mines, 1893. — Ed. Fuchs. *Notes manuscrites.* — 1890 (B. S. G. F., p. 630). — 1899. Von Ammon. *Geol. Führer durch Teile der frankischen Alb.* — 1902. Schmierer. (Z. d. G., p. 525. — 1904. Walther. *Die Fauna der Solenhofener Plattenkalke* (Iéna).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Puis le polissage proprement dit se fait à bras d'hommes, de femmes et d'enfants avec du sable de plus en plus fin.

Le temps employé au polissage est extrêmement variable ; des pierres de 95 cm. sur 70 se polissent quelquefois en une demi-heure et quelquefois en trois jours seulement.

En général, pour 30 bonnes pierres polies, il y en a 60 de mauvaises. On classe les pierres en trois classes suivant l'uniformité de la surface : la première classe comprend celles dont la surface mouillée ressemble à un miroir.

Pour les dalles, au lieu de les polir l'une contre l'autre, on les polit au grès.

La proportion de déchet pour l'abatage dans les carrières est de 80 p. 100. Les 20 p. 100 utilisés se répartissent entres les dalles et les pierres lithographiques ; il y a deux tiers de pierres et un tiers de dalles.

Les ouvriers qui polissent gagnaient, il y a quelques années, 2,20 fr. par jour, les femmes et les enfants de 1 à 2 francs; chaque atelier de polissage se compose d'une quinzaine d'individus.

La totalité des ouvriers du district de Solenhofen s'élève à 1 200 environ ; la Compagnie Actien-Verein en occupe 250 en été et 140 en hiver : elle produit les trois quarts des pierres lithographiques du district.

E. — MARBRES[1]

Usages. — Les usages du marbre tiennent à sa faculté de recevoir un beau poli. Sa valeur comme pierre de décoration dépend, dans une très forte mesure, de son grain, de sa structure et de sa couleur. Les marbres les plus recherchés sont ceux qui peuvent donner, pour la sculpture, de grands blocs parfaitement blancs, sans taches ni veines, avec une cristallisation des particules en cristaux assez petits pour que les facettes ne se distinguent pas les unes des autres. Même parmi les marbres blancs, la façon dont la pierre se patine avec le temps donne une supériorité considérable aux marbres grecs qui prennent une teinte chaude et légèrement orangée, sur les marbres de Carrare généralement usités aujourd'hui, dont le poli savonneux et la teinte bleuâtre sont parfois peu artistiques.

Classification pratique des marbres. — Pratiquement, la classification des marbres s'établit d'après leur apparence extérieure :

1. Marbres simples. — α) MARBRES BLANCS. — *Paros*, *Pentélique*[2],

[1] Coll. Ecoles de Mines, 1896 à 1900. — 1855. DELESSE. *Sur les matériaux de construction à l'Exposition universelle.* — 1872. EDWARD HULL. *A treatise on the building and ornamental stones of Great Britain.* — 1872. V. DECHEN. *Die nutzbaren Miner. im Deutschen Reiche* (Berlin). — 1890. R. LEPSIUS. *Griechische Marmorstudien* (Abh. Ak. d. Wis. z. Berlin). — 1894. MERRILL. *The onyx marbles. Their origin, composition and uses.* in-8° Wesley. — 1895. *Marbres des Etats-Unis* (Monde moderne, juin). — 1897. H. SCHMIDT. *Die modernen Marmore und Alabaster* (Leipzig, Deuticke, 77 p.). — 1898. VOGT. *Der Marmor, seine Geologie, Structur, mechan. Eigenschaften* (Z. f. pr. G., p. 4 à 16). — 1902. *Ein Beitrag zum Studium antiker Marmore* (cf. Z. f. pr. G., p. 319). — 1912. DARRAS *La Marbrerie* (1 vol. de 344 p. Dunod et Pinat).

[2] La *Vénus de Milo* a le buste en Paros, le bas du corps en Pentélique.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Carrare, Vermont aux Etats-Unis. — *Albâtre* calcaires d'Algérie ou d'Egypte[1].

β) Marbres bleus, jaunes, verts, etc. — *Bleu turquin* d'Italie ou des Pyrénées; *bleu fleuri, jaune antique, jaune Sienne*, avec taches rouges, *jaune de Numidie; vert antique* (de Thessalie).

γ) Marbres rouges. — *Griotte*, à fond brun ou rouge brun, avec veines ou taches rouge clair, quelquefois blanches (Aude). — *Rouge antique* (Grèce). — *Rouge* de Sienne. — *Brèche sanguine* de Kristel (Algérie). — *Sarancolin*, à fond jaune ocreux, avec taches rouges (Pyrénées). — *Marbre incarnat* (à polypiers), grandes taches rouges (Languedoc). —

δ) Marbres noirs. — *Noir antique*, complètement noir ou parsemé de très petites taches blanches. — *Petit granite*, noirâtre, avec parties blanches ou moins foncées. — *Sainte-Anne*, marbre belge à fond noir ou brun foncé, largement veiné par des fissures remplies de spath calcaire blanc. Il prend un beau poli et se prête bien aux ouvrages de tabletterie ordinaire, cheminées, tables. — *Bleu belge*, limite du Sainte-Anne vers le noir, à veinulation blanche très riche. — *Noir grand antique*, noir, avec de grandes taches blanches. — *Portor*, fond noir absolu, veiné de fissures remplies de calcaire jaune doré (Pyrénées, Gênes, Porto-Venice).

2. Brèches. — Marbres de couleurs et de noyaux divers. Tantôt la pâte est noire et les noyaux sont foncés; tantôt les noyaux sont plus clairs. On cite : *Brèche d'Alais*, de Tholon (jaune gris), à l'Est d'Aix, en Provence. — *Jaune fleuri*. — *Rose fleuri*. — *Brocatelle d'Espagne* (Tortosa).

3. Marbres composés. — *Campan*, calcaire saccharoïde avec veines. — *Vert antique*, serpentine. — *Cipolin*, talc. — *Ruiniforme*, à fond brun avec parties foncées à contours anguleux (Florence).

4. Lumachelles. — Les *lumachelles* sont formées de coquillages ; elles prennent souvent un mauvais poli qui fait apparaître les tranches des coquillages (Mayenne, Meuse) ; les plus belles viennent de Corinthe.

5. Marbres onyx. — *Onyx vert du Brésil*. — *Onyx du Mexique* ou *tecali*. — *Onyx d'Algérie*[1].

Classification géographique des marbres. — Au lieu de classer les marbres par nature, on peut les classer d'après leur distribution géographique. Nous commencerons par la France qui est, du reste, avec la Grèce et l'Italie, un des pays où les marbres sont les plus abondants :

On peut y distinguer 7 groupes :

1° Le *groupe du Nord* (Nord, Pas-de-Calais, Ardennes, Meuse), comprenant : les marbres foncés de Marpont (Nord) ; les marbres gris ou rosés à veines blondes de Boulogne-sur-Mer (marbre Napoléon, marbre lunelle et marbre rubané), les lumachelles de la Meuse, dites Chalines ou marbres de l'Argonne, dures et difficiles à travailler, mais susceptibles d'un beau poli.

2° Le *groupe de l'Ouest*, avec les carrières de Sablé et Joué-en-Charnie

[1] *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 279.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans la Sarthe, celles de Neuvillette et de Grez-en-Bouère dans la Mayenne.

3° Le *groupe du Centre,* avec quelques marbres blancs cambriens ou carbonifères du Morvan, peu exploités ; avec les marbres gris dévoniens de Diou (Allier) ; avec ceux du Lot-et-Garonne, jaunes à teintes roses ou violacées et veines blanches et grises, très estimés, etc...

4° Le *groupe des Vosges :* carrières de Chippal et de Lavelibe (marbre blanc), Vackenback (marbre brun rougeâtre veiné de bleu et de gris), Russ (marbre brun vert).

5° Le *groupe des Alpes* représenté : par les marbres de Chorges et de Laur (noir veiné de jaune), de Guillestre (marbre violet), Saint-Crépin (beau marbre noir), tous dans les Hautes-Alpes ; par les marbres noirs de l'Isère, les marbres jaunes et rouge violacé des Basses-Alpes.

6° Le *groupe des Pyrénées,* le plus important de tous, avec les marbres blancs de Saint-Béat (Haute-Garonne) ; les marbres si variés de couleur de la vallée de Campan, de Barousse (Hautes-Pyrénées), de la vallée d'Aspe ; les marbres rouges de Caunes dans l'Aude, etc...

7° Le *groupe de l'Algérie,* qui fournit les beaux onyx translucides, blanc pur, vert émeraude... de Tekbalet, Aïn-Sebaa, etc., le marbre blanc et le marbre statuaire de Filfila, le marbre brun rouge d'Aïn-Ouinkel, le marbre jaune de Philippeville, le marbre portor de la province de Constantine, les marbres de Bône et de Bougie [1].

L'*Italie* renferme, dans les Alpes, les plus riches gisements de marbres actuellement connus, ceux de Serravezza et de Carrare, que nous allons décrire, la brèche blanche à veines violettes de Strazzema près de Serra-Vezza, etc...

En *Grèce,* on connaît les marbres célèbres de Paros, du Pentélique, de Naxos, de Chio, de Thasos, de Syra et d'Antiparos ;

En *Espagne et Portugal,* les marbres d'Estrennas, de l'Alemtejo, de l'Estramadure ;

En *Prusse,* le marbre noir de Buschenberg [2] ;

En *Autriche,* les marbres blancs de Villasenina et de Vezza ;

En *Irlande,* les marbres noirs de Kilkenny [3] ;

En *Norvège,* le groupe des marbres intercalés dans les micaschistes cambriens de Salten, Ranen, etc... [4] ;

En *Suède,* le marbre blanc de Veljord, plus résistant mais moins fin que le Carrare ;

Dans l'*Inde,* les marbres serpentineux de Delhi, de Gya, de Makrana sur le territoire de Jodhpore (1 726 t. en 1905), du district de Jinnevelly, le marbre gris veiné de noir d'Assam, le marbre noir de Ducha, le marbre des Sagyin hills, près Mandelay, etc... ;

[1] Voir L. De Launay. *Rich. Min. de l'Afrique,* p 279.

[2] 1896. *Marmorfunde in der Eifel* (Z. f. pr. G., p. 476). — 1896. Hoffmann. *Die Marmorlager von Auerbach an der Bergstrasse* (Z. f. pr. G., p. 353 et 467).

[3] 1886. Hartley. *The black marble of Kilkenny* (Sc. proc. r. Dublin Soc., t. 5, p. 486). — 1886. Kinahan. *Irish marbles and Limestone* (Sr. proc. r. Dublin Soc., t. 5, p. 372).

[4] 1994. Vogt. *Salten of Ranen-Dunderlandsdalen Eisenerzfeld.* — 1898. *Norsk marmor.* 333 p. et 6 cartes, avec résumé allemand. La production de 1896 a été de 2.150 m³.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Dans le *Canada*, le marbre serpentineux de Greensville, le marbre noir à taches blanches de Missisquoibay, etc. ;

Aux *Etats-Unis*, les marbres dolomitiques de Pleasantville (New York), Lee (Massachusetts), les marbres blancs de Vermont analogues au Carrare ;

A *Cuba* et au *Mexique*, de très beaux marbres roses, jaunes, rouges, etc..

Géologie. — Géologiquement, un marbre est un calcaire cristallin. Pratiquement, on rattache aux marbres d'autres pierres susceptibles de poli, telles que les dolomies, ou, parfois des magnésites. La cristallisation des calcaires marmoréens tient presque toujours à un métamorphisme régional, déterminé par le retour en profondeur ; mais, localement, des phénomènes de contact éruptif ont pu produire aussi des marbres qui, ayant moins d'extension, ont moins d'intérêt industriel. Ces derniers se distinguent par une abondance de minéraux silicatés dont il a déjà été question dans un autre chapitre : grenat, wollastonite, augite, chondrodite, tourmaline, spinelle, etc., et, en même temps, par la disparition souvent complète des matières hydrocarburées, auxquelles d'autres marbres doivent, comme les calcaires eux-mêmes, leur couleur noire : disparition due à une oxydation plutôt qu'à une vaporisation, avec production d'acide carbonique ayant pu contribuer à la cristallisation. Industriellement, le métamorphisme régional a seul pu donner des bancs marmoréens assez étendus et homogènes pour être utilisables [1]. Ce métamorphisme étant en rapport direct avec les plissements, c'est de préférence sur les zones plissées, et notamment dans les terrains primaires, qu'on trouve la plus grande abondance des marbres. Cependant les onyx calcaires sont, au Mexique, en Algérie, etc., le produit d'eaux chaudes récentes.

Les qualités du marbre tiennent, nous l'avons vu, 1° à son grain et 2° à sa couleur. Le grain, dans les marbres dus à un contact igné, est d'autant plus gros que l'on se rapproche davantage de la roche chaude et que l'action de celle-ci a dû être plus intense. On est amené à expliquer ce grenu par une dissolution suivie d'une recristallisation en présence de l'eau et de l'acide carbonique sous pression jouant le rôle de minéralisateurs et à considérer de toutes façons les dimensions du grain comme correspondant, même dans le métamorphisme régional, à l'intensité de ce métamorphisme. La pression, certainement plus forte dans le dernier cas, a provoqué un agrégat cristallin beaucoup plus enchevêtré. La coloration, d'autre part, est, en grande partie, attribuable aux matières organiques hydrocarburées et le marbre devient blanc quand ce métamorphisme a été assez prononcé pour brûler le carbone ; il en est résulté alors un excès d'acide carbonique qui a influé sur le grain du marbre.

Les anciennes expériences de Hall, comme les recherches de H. Le Chatelier et Joannis [2], montrent que le calcaire et la dolomie peuvent être amenés à une fusion à haute température.

[1] Certains marbres blancs d'Egypte à 75 km de la mer Rouge près d'Abu Geraia, sont au contact de roches cristallines (L. De Launay. *Rich. min. de l'Afrique*, p. 250).

[2] 1892. Le Chatelier (C. R., t. 115, p. 817, 1009). — Joannis (C. R., t. 115, p. 1009, 1296). — Les tentatives faites pour répéter l'expérience de Hall (fusion de la craie produisant du marbre), ont généralement échoué.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Classification géologique des marbres.—Les *terrains cristallophylliens*[1], quel que soit leur âge réel, renferment fréquemment, en relation avec les amphibolites et les leptynites, des bancs de cipolins, c'est-à-dire de calcaires cristallins, qui fournissent souvent de beaux marbres.

C'est le niveau du marbre blanc de Saint-Béat, contenant de la pyrite, de la fluorine, du soufre natif et de la tourmaline verte ; c'est celui des calcaires cristallins de Saint-Philippe dans les Vosges, décrits par Delesse, etc.

En Grèce, quelques-uns des marbres exploités dans l'antiquité semblent se trouver à ce niveau : ainsi ceux de Thasos (carrières d'Aliki), objets d'une exploitation importante du temps des Athéniens, très recherchés également par les Romains à cause de leurs teintes bariolées.

En Algérie, on trouve près de Bône, dans la province de Constantine, de beaux marbres cipolins blancs bleuâtres.

Le *cambrien* renferme quelques lentilles de marbre dans le plateau central, à Saligny (Allier), etc. ; en Bretagne, à Pontpéan, aux Mesliers ; en Normandie, à Laize, etc. On trouve également dans le cambrien les marbres du Nord de la Norvège.

A l'époque *silurienne* se rattachent les calcaires noirs des environs de Luchon.

Le *dévonien* est un niveau de marbres important[2] :

Ainsi, dans *la région ardennoise*, après le régime détritique instable du dévonien inférieur, les facies calcaires commencent dans l'eifélien (7) et aboutissent, pendant le givétien (8) et le frasnien (9) à la production de récifs coralliens, donnant aujourd'hui de beaux marbres très exploités.

L'assise du calcaire de Givet (8), épaisse de 400 m., fournit un marbre noir ou bleu foncé avec des fossiles (spirifer, stringocephalus, cyatophyllum, etc.), dessinés en clair sur le poli des surfaces (marbre Sainte-Anne de Givet, riche en polypiers ; marbre Charlemagne, riche en gastropodes).

Le frasnien (9) fournit des calcaires, tantôt bleus, tantôt bigarrés de rouge et de vert (marbres de Rance et de Fromelennes, rouge de Flandre). Le famennien (10) contient également un marbre rouge à crinoïdes à Dolhain.

Dans le *Boulonnais*, on a, dans le frasnien (9), le calcaire bleu noirâtre de Ferques, dont la base est massive et exploitée pour marbre, dont la partie supérieure est schisteuse et fossilifère.

[1] 1851. Delesse. *Marbres de Saint-Philippe* (Vosges) (Ann. d. M., et B. S. G. F.). — 1854. Gaudry. *Sur le calcaire marbre du Mont Pentélique* (B. S. G. F., 2e, t. 11, p. 359). — 1890. Lepsius. *Griechische Marmorstudien* (Abh. Ak. d. Wis. zu Berlin) ; Cf. *Géologie de l'Attique*.

[2] Dupont. *Marbre de Givet* (Bull. Ac. Belg., 3e série, t. 2). — 1873. Leymerie. *Sur la position et le mode de formation des marbres dévoniens du Languedoc* (B. S. G. F., 3e, t. I, p. 242). — 1874. Leymerie. *Calc. carbon. des Pyrénées ; marbres de Saint-Béat* (C. R., t. 79, p. 145). — 1874. Coquand. *Sur les marbres blancs statuaires des Pyrénées et de Toscane* (C. R., t. 79, p. 411). — 1879. Ch. Barrois. *Le marbre griotte des Pyrénées* (In-8° de 31 pages). — 1884. Von Koenen. *Ueber den Marbre Griotte der Gegend von Montpellier* (N. J. für Min., p. 203, Stuttgart). — 1884. Ch.-L. Frossard. *Les marbres des Pyrénées* (In-8° de 44 pages. Paris, Cf. B. S. G. F., 3e, t. 13, p. 272, 1885. *Ibid.*, 1896). — 1882. Virlet d'Aoust. *Rapport sur les marbres et les pierres lithographiques du département de l'Aude* (In-4° de 19 pages, Paris). — Carez. *Bibliographie des Pyrénées*.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dans la *Mayenne,* les gisements de calcaire forment deux groupes : l'un, sur la rive gauche de la Mayenne (Saint-Céneré, Saint-Pierre-sur-Erve), relié aux calcaires de la Sarthe (Viré, Brûlon) ; l'autre, sur la rive droite (la Braconnière, Saint-Jean).

En *Bretagne,* on connaît les calcaires de la rade de Brest.

En *Morvan,* les calcaires marbres de Diou et de Cussy-en-Morvan sont du dévonien moyen (8).

Dans le *Languedoc,* le pic de Cabrières contient un calcaire griotte rouge à goniatites, du dévonien supérieur. Ces griottes sont exploités sous le nom de marbre de Caunes, aux confins de l'Aude et de l'Hérault.

Enfin, dans les *Pyrénées,* le dévonien supérieur renferme un niveau très constant de marbres amygdalins, où le calcaire cristallin constitue en général des noyaux plus ou moins arrondis, pétris de goniatites et entourés de schiste. Ces marbres forment des variétés nommées, soit *marbre griotte* quand le schiste qui accompagne le calcaire est rouge, soit *marbre campan* quand il est vert. Les griottes de Campan sont du famennien (10).

Le terrain *carbonifère* est exploité pour marbres dans les Ardennes, à Soignies, Feluy, etc.

Dans le Boulonnais, où le dévonien renferme déjà les marbres de Ferques, le carbonifère contient les calcaires du Haut-Banc à Productus Cora (marbres dits Henriette et Caroline), et, au-dessus, les marbres Napoléon gris ou rosés à Productus undatus.

C'est probablement dans le *trias* qu'il faut ranger les célèbres marbres de Carrare et de Serravezza dans la province de Lucques, sur lesquels nous reviendrons bientôt. Ils forment une puissante lentille de calcaire blanc bleuâtre, intercalée (dans certains points avec quelque discordance de stratification) au milieu de schistes magnésiens du trias.

Dans les périodes suivantes, les calcaires deviennent très abondants en Europe ; mais les marbres sont plus localisés et se trouvent seulement dans les régions où le terrain a subi des plissements[1]. C'est ainsi que, tandis que le bassin parisien ne contient pas de marbres, le *jurassique* de la Provence renferme des couches cristallines. En général, on peut remarquer que ces marbres secondaires sont d'une couleur plus uniforme, moins riche, presque toujours grise ou jaune.

On peut également rattacher au jurassique les calcaires marbres du Valais (Chambéry et Monthey) et plusieurs des marbres algériens (Kleber, etc.). Quelques-uns des marbres blancs les plus célèbres, en particulier ceux de *Grèce* (Pentélique, Paros, Cyclades), appartiennent au crétacé métamorphique.

Dans le *tertiaire,* la France ne renferme plus que fort peu de véritables

[1] 1878. Baltzer. *Ueber die Marmor Lager an der Nordgrenze des FinsterAarhorns* (Z.d. D. geol. Ges., t. 30, p. 217). — 1879. De Tribolet. *Carrières de marbre de Saillon, en Valais* (27 pages, 1 planche. Bull. Soc. Sc. nat. de Neufchâtel). — 1881. Charpy. *Sur l'industrie de la marbrerie à Saint-Amour et sur les divers gisements de marbre dans le département du Jura* (In-8° de 34 pages). — 1882. Renevier. *Nouveau gisement de marbre saccharoïde à Brançon* (Valais) (Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 2e série, t. 18, p. 129). — 1882. Gerhard. *Ueber den Marmor von Saillon bei Saxon im Rhonethal* (N. J. f. Min. Geol., t. I, n° 3, p. 241).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

marbres. Cependant il en existe quelques types en Provence. La brèche du Tholonet, à l'Est d'Aix, est un facies littoral grossièrement détritique du danien supérieur et de l'éocène inférieur d'eau douce. Dans l'Aude, le marbre du mont Attila est nummulitique et, dans les environs de Paris même, une couche éocène, connue sous le nom de marbre de Gidry, est susceptible de prendre du poli.

A l'étranger, les marbres de la vallée de la Milianah en Tunisie et ceux de Beni-Bou-Gherdane ou de Chenouah sont éocènes ; les marbres onyx de Filfila (Oran) sont miocènes.

Enfin des formations de *travertins* par des sources chaudes presque contemporaines ont donné lieu à la production de très beaux marbres onyx atteignant une grande valeur, mais présentant ce défaut que leurs dépôts sont toujours très limités. On peut citer, dans cet ordre d'idée, les travertins du Mexique, tels que ceux de la New-Pedrara en Basse-Californie, et les onyx de l'Algérie, dont le principal gisement à Tekbalet, dans la province d'Oran, donnait récemment environ 80 m^3 par an, à 855 fr. le m^3 [1].

En ce qui concerne l'industrie des marbres, nous nous bornerons à quelques détails sur une des exploitations les plus renommées, celle de Carrare et nous terminerons par des généralités relatives aux diverses autres carrières.

GISEMENTS DE CARRARE [2]

Géologie. — Ces marbres forment, comme nous l'avons dit, une puissante formation triasique entre *Carrare* et *Serravezza*.

Ils reposent sur des schistes paléozoïques quartzeux, talqueux et micacés, et ils sont surmontés par des schistes argileux et talqueux triasiques, recouverts à leur tour par des calcaires infraliasiques.

La formation marmoréenne présente, à la base et au sommet, des alternances de strates schisto-calcaires, calcschistes, cipolins et d'un calcaire siliceux couleur de cendre, nommé *Grezzono*.

Il y a deux zones de marbre, généralement séparées par des calcaires gris siliceux : l'une supérieure à marbres statuaires, marbres à veines violettes ; l'autre inférieure à marbres blancs ordinaires, variété Bardiglio.

Le *marbre blanc statuaire* (couleur blanche ou rosée) est en masses ovoïdes lenticulaires, irrégulières, au milieu de marbres plus impurs, dont il est souvent séparé par la *madre macchia*, sorte de salbande formée d'imprégnations talqueuses et ferrugineuses.

Le *marbre blanc ordinaire* a une légère coloration bleuâtre due à du fer ou à des matières charbonneuses.

[1] 1894. MERRILL. *The onyx marbles.* In-8° Wesley. — 1895. *Onyx de New Pedrara* (Basse-Californie) (Z. f. pr. G., p. 295). — 1901. L. DE LAUNAY. *Le Mexique au XX^e siècle*, t. 1, p. 288. — 1903. L. DE LAUNAY. *Rich. min. de l'Afrique*, 279.

[2] 1864. SIMONIN. *Carrières de marbre de Carrare* (Rev. des Deux Mondes, 1er juil.). — 1870. *L'exploitation des marbres de Carrare, de Massa maritima et Serravezza* (Cuyper. t. 27, p. 423). — 1875. FABRI. *Cave di Marmo della Alpe Apuane.* — 1878. RENEVIER, *Sur le macigno des Apennins et le marbre de Carrare* (Bull. Soc. vaudoise de Sc. nat., 2^e série, t. 15, p. 92). — 1881. DE STEFANI. *La zona marmorifera delle Alpi apuane* (Atti. d. S. tosc. di Sc. nat.. 13 nov.). — 1897. GIAMPAOLI. *I marmi di Carrara.* (Pise, 39 p. et pl.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les *bardigli* comprennent: le *fleuri* à veines blanches nettes dans une masse grise ou bleuâtre et le *commun* à veines moins nettes.

Puis viennent *les cipolins*, ou calschistes, avec alternances de calcaire saccharoïde et de matières talqueuses et micacées ; et la *brèche calcaire de Serravezza :* éléments calcaires et argileux à colorations vives dans un ciment calcaire. Cette brèche elle-même comprend les variétés *mischio, africano*, pour les couleurs rouges et violettes, et une autre. dite *fleur de pêcher*, très dure, qui se vend 1 200 fr. le mètre cube, etc.

Industrie. — L'exploitation commence par débiter de grosses masses par les mines dites *à la française*, où l'on fait un trou de 15 m. de hauteur, qu'on élargit par l'acide chlorhydrique et qu'on charge de plusieurs quintaux de poudre. Puis on débite en utilisant les plans de clivage.

La brèche de Serravezza est exploitée avec soin en galeries, et chaque bloc détaché au pic et au coin.

La *population ouvrière* à Carrare, Massa, Serravezza, comprenait il y a quelques années :

Abatage, transport aux carrières	5 030	ouvriers.
Transport sur les routes	860	—
Scieries, ateliers	1 160	—
Sculpture.	1 410	—
Total.	8 460	ouvriers.

On évaluait alors à 19 millions de francs la valeur des marbres sciés et ouvrés, à 4 millions de francs celle des marbres bruts. Le total de la production montait à 170 000 t.

On exploite de plus à Carrare, environ 70 000 m³ d'un marbre blanc inférieur, dit blanc clair d'Italie.

Le prix du beau Serravezza étant représenté par un coefficient de 120, le Carrare vaudra 100, le blanc clair d'Italie 35. Le paonazzo, ou marbre blanc veiné, atteint aujourd'hui 1 500 fr. le m³.

GÉNÉRALITÉS SUR L'EXPLOITATION DES MARBRES

Les résultats de l'exploitation des marbres varient suivant les contrées.

Dans le *Boulonnais*, on utilise en blocs 30 à 35 p. 100 des couches, dont la scieuse extrait des cinq dixièmes aux neuf dixièmes.

A *Ravenne*. — Utilisation en blocs : 50 p. 100 ; déchets à la scie : 12 p. 100 à 11 p. 100.

A *Frommelennes*. — Blocs : 60 à 75 p. 100 ; déchets à la scie 12 p. 100.

A *Charlemagne*. — Blocs : 65 p. 100 ; déchets à la scie : 15 p. 100.

On admet, dans les carrières belges, qu'on extrait en blocs marchands :

50 p. 100	dans les couches	exceptionnellement favorables.
33 p. 100	—	bien régulières.
30 p. 100	—	ordinaires.
25 p. 100	—	irrégulières.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le prix d'abatage du mètre cube de marbre en place varie de 8 à 10 fr., tous frais compris, dans les pays où la main-d'œuvre se paye de 3 fr. 50 à 5 fr. par journée d'ouvrier ou de carrier. On travaille aujourd'hui fréquemment au fil hélicoïdal ou à la perforatrice.

Les frais de la taille des blocs sont de 2 fr. à 2,50 fr par mètre carré de parement piqué.

Sciage du marbre. — On scie le marbre en tablettes de diverses épaisseurs, notamment de 2 cm. et de 8 à 10 mm. d'épaisseur. La première sorte est la plus employée pour la fabrication des cheminées, tables de commodes, tables de toilette, etc.

On découpe, dans un mètre cube, 40 plaques de 2 cm. et 70 à 75 plaques de 10 à 8 mm., les plaques ayant chacune 1 m².

Le sciage revient à environ 2,30 fr. le mètre carré de surface sciée, avec une épaisseur de 2 cm., et à 2,25 fr. pour les plaques de 8 à 10 mm.

Le marbre reçoit du sciage une plus-value assez considérable ; ainsi le Sainte-Anne se vend 11 à 12 fr. le mètre carré pour les plaques de 2 cm., et 8 à 9 fr. pour les plaques de 1 cm. à 0,8 cent. (Ce qui fait 440 fr. et 560 fr., au lieu de 210 fr. le mètre cube brut.)

Un châssis à lames parallèles débite environ 120 à 150 m³ par an ; son établissement, force motrice, etc., revient à 12 000 ou 15 000 fr.

Statistique. — En 1907, la France a importé 36 740 t. de marbres communs et 840 t. de marbres blancs statuaires bruts. L'extraction a été, cette même année, de 121 425 t. (45 000 m³) à 37,25 fr. le m³ (prix moyen sur place).

En 1909, l'excédent des importations a été de 38 966 t. de marbres communs et 1 643 t. de marbre statuaire. L'extraction est officiellement évaluée à 80 000 t. ; plus 200 t. d'onyx algérien à 250 fr. la t. et 450 t. de marbre algérien à 150 fr.

Les tableaux des marbriers comptent le prix du marbre : soit par mètre cube pour des parallélipipèdes ayant des côtés de 6, 8, 10, 15, 20 cm. ou plus ; soit par m² pour des épaisseurs de tranches variables entre 3/4 cm. et 10 cm. Pour des blocs de 20 cm. et plus, le prix peut aller de 560 fr. le m³ (noir français), à 1 000 fr. (rouge de Flandres), à 1 400 fr. (Pentélique), à 3 000 (jaune de Sienne, vert antique), à 6 000 (statuaire courant), à 8 500 (statuaire choisi). Le m², sur 3 cm. d'épaisseur, peut aller de 23 fr. (petit granite belge), à 500 fr. (onyx du Brésil).

SULFATE DE CALCIUM

Usages. — Les usages du *plâtre* pour le moulage et pour la construction sont bien connus ; ils tiennent à la propriété qu'a le sulfate de chaux d'être très dur lorsqu'il est hydraté ; pulvérulent et farineux, au contraire, lorsqu'on lui a retiré son eau par la calcination.

Le gypse, ou sulfate de chaux hydraté, qui est le minerai naturel du plâtre, se transforme en plâtre par la cuisson, d'où résulte une déshydratation.

Pour H. Le Chatelier, le plâtre serait, en majeure partie, formé de sul-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fate semi-hydraté, auquel, d'après Van-t-Hoff, il s'ajoute de l'anhydrite. Si le plâtre a été chauffé au delà de 204 degrés, il est trop cuit. Mis en présence de l'eau, le plâtre commence par s'hydrater, puis se dissout en partie dans l'eau qui se sature et finalement fait prise. Pour gâcher le plâtre, il faut théoriquement 18 p. 100 d'eau, en pratique 100 p. 100. La quantité d'eau plus ou moins grande et le temps plus ou moins long que nécessitent ces opérations établissent, entre les divers plâtres, de grandes différences pratiques.

Les meilleurs plâtres pour construction sont ceux qui, à poids égal, exigent le moindre volume d'eau pour se gâcher et font une prise plus lente.

En dehors de son application capitale dans la construction sous la forme d'enduits, le plâtre sert encore à faire des moulages[1]. On en fait aussi des *stucs*, qui sont un mélange de plâtre, de colle, et de sulfate de zinc. On délaye le plâtre fin dans une solution de colle encore tiède, de manière à obtenir une pâte de consistance molle, à laquelle on ajoute diverses substances colorantes ; on polit le mélange sec à la pierre ponce, à la pierre à aiguiser et au tripoli ; enfin on le frotte avec du feutre et de l'eau de savon, puis avec de l'huile. On parvient ainsi à reproduire les teintes et l'aspect des marbres.

Le plâtre imbibé d'alun, ou plâtre aluné, donne une variété de stuc, qu'on peut obtenir aussi en trempant le gypse dans de l'acide sulfurique à 8 ou 10 p. 100 et cuisant comme à l'ordinaire.

L'industrie du papier peint utilise également du plâtre très blanc.

On fait enfin un grand usage du plâtre en *agriculture* pour amender les terres destinées à être converties en prairies artificielles. Son action paraît être restreinte aux légumineuses et aux crucifères. Il semble qu'il ait pour effet de faire passer les alcalis de la couche superficielle, où ils sont habituellement retenus, dans les couches profondes, où les racines des légumineuses vont chercher leurs aliments. Comme la potasse est rendue immédiatement soluble par le plâtrage, on a l'habitude de ne répandre le plâtre que lorsqu'il existe des plantes poussées prêtes à se l'assimiler.

Statistique. — La production du gypse dans le monde (1909) peut être approximativement représentée par les chiffres suivants (la perte à la calcination étant estimée à 20 p. 100) : Etats-Unis (2 000 000 t.) ; France (1 400 000 t., contre 2 400 000 en 1901) ; Canada (481 000 t.) ; Italie (250 000 t.) ; Iles Britaniques (250 000 t.) ; Allemagne (Bade et Bavière) (90 000 t.).

On voit la place, encore très importante, mais pourtant décroissante, occupée sur ce marché par l'industrie française, étant donné surtout la blancheur du plâtre de Paris qui lui fait attribuer une place spéciale.

En *France*, la production de gypse est repartie par la statistique de 1909 en trois groupes : 1 263 000 t. de plâtre à 9,60 fr. ; 61 000 t. de plâtre pour amendement à 6,65 fr. et 15 000 t. de gypse blanc pour papiers peints à 12 fr.

[1] Pour les moulages usités en paléontologie, où l'on doit dissoudre dans l'acide chlorhydrique dilué le calcaire dont on prend l'empreinte, on emploie du plâtre anglais exempt de carbonate de chaux, qui provient du Cheshire.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le groupe du tertiaire parisien figure pour 186 000 t. dans la Seine; 300 000 en Seine-et-Marne; 378 000 en Seine-et-Oise; 20 000 dans l'Aisne.

Il faut ajouter 39 000 t. dans les Bouches-du-Rhône; 30 000 dans l'Ariège; 25 000 dans la Charente; 22 000 dans la Nièvre; 22 000 en Savoie; 23 000 dans le Jura; 15 000 en Saône-et-Loire; 23 000 dans les Basses-Pyrénées.

Les *Etats-Unis* produisaient, en 1890, 175 000 t. de gypse (65 000 dans le Michigan, 30 000 dans l'état de New-York, etc.) et en importaient 182 000 t.

La production, qui s'est considérablement développée depuis 1900, à atteint, en 1908, 1 570 000 t., plus 268 000 t. de gypse cru importé et 2 300 t. de plâtre calciné; en 1909, 2 000 000 t. Les importations de plâtre de Paris oscillent entre 100 000 et 200 000 francs, par an. On importe, en outre, du plâtre particulièrement blanc de la Nouvelle Ecosse. Les grands producteurs Nord-américains ont été, en 1908 : l'Ohio (246 000 t.); l'Iowa, le Kansas et le Texas (333 000); le Michigan (295 000); New-York (286 000); Oklahoma (245 000). Le gypse cru y vaut, en moyenne, 13 fr. la tonne.

Au *Canada*, les gisements se trouvent dans la Nouvelle Ecosse et le Nouveau Brunswick. La production a passé de 350 000 t. en 1908, à 473 000 t. valant 3 400 000 fr. en 1909, à 531 000 t. en 1910.

En *Italie*, le district de Caltanisetta, fournit la plus grande partie de la production.

Géologie. — Le sulfate de chaux se présente dans la nature et constitue des gisements importants sous deux formes, qui correspondent à des conditions de dépôt différentes : l'anhydrite, ou sulfate anhydre de chaux $CaSO^4$ et le gypse, ou sulfate hydraté $CaSO^4$, $2H^2O$. Nous avons déjà dit un mot de cette question à propos des bassins salins[1]. On a attribué souvent la différence entre ces deux mots de précipitation à la seule pression : une profondeur d'eau de plus de 100 m. étant, croyait-on, la cause déterminante de l'anhydrite. Les influences prédominantes sont, en réalité, celles des autres corps en dissolution dans le même bassin et de la température. Dans le cas très général, où le sulfate de chaux en dissolution est associé avec du chlorure de sodium, une température de 25 à 30 degrés suffit pour déterminer la précipitation en anhydrite. C'est ce qui explique comment, dans les bassins salins comme celui de Stassfurt, les alternances ordinaires de sulfate de chaux se sont faites sous la forme d'anhydrite. Avec de l'eau non salée contenant seulement du sulfate de chaux dissous, cas qui a dû être très exceptionnel dans la nature, il aurait fallu plus de 60 degrés.

Le dépôt une fois effectué sous la forme, soit de gypse, soit d'anhydrite, bien des circonstances, utiles à connaître, ont pu amener le passage de l'un de ces corps à l'autre. C'est ainsi que le gypse, longtemps maintenu à 125 degrés, se déshydrate et donne un sulfate dimorphe de l'anhydrite, puis, à la température du rouge cerise, de l'anhydrite. L'anhydrite pourrait donc provenir localement d'un métamorphisme calorifique exercé sur le gypse.

Par contre, l'anhydrite se transforme en gypse avec la plus grande facilité par l'action de l'air humide. C'est ainsi que, dans les tunnels de la

[1] Tome 1, page 226.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

région alpine, il est arrivé souvent de rencontrer des masses de gypse qui, peu à peu, une fois exposées à l'air, se sont hydratées en se gonflant et en forçant à diverses reprises à la réfection de la voie.

On a ainsi plusieurs stades successifs dans l'action de l'eau sur l'anhydrite : d'abord formation du gypse, puis dissolution de celui-ci. Le premier phénomène s'accompagne, comme nous venons de le voir, d'un gonflement; le second d'un affaissement. La présence du sulfate de chaux dans les terrains a eu ainsi pour conséquence des bouleversements divers des couches, qui ont pu faire croire parfois à des mouvements tectoniques, ou à des actions éruptives.

ORIGINE DES DÉPOTS DE GYPSE ET D'ANHYDRITE[1]

1° *Évaporation.* — La presque totalité du gypse et de l'anhydrite intercalés dans les terrains géologiques doit être attribuée à une évaporation saline, qui a déjà été étudiée précédemment[2]. Cette évaporation paraît s'être surtout produite dans des conditions continentales de climat désertique sur des bassins sans écoulement, provoqués eux-mêmes par un mouvement tectonique antérieur. On trouve donc le sulfate de chaux toujours associé avec des argiles et marnes qui représentent des dépôts en eaux tranquilles; et souvent ces marnes ou argiles présentent les couleurs vives violettes ou vertes, attribuables aux sels de fer concentrés dans les mêmes eaux à un état d'oxydation plus ou moins avancé. Cette évaporation, comme celle dont résulte le sel gemme, a pu se produire sur des bassins où s'étaient trouvées isolées des eaux marines; mais cette présence initiale d'eaux marines n'est nullement nécessaire : toutes les eaux réputées douces tenant en dissolution une certaine proportion de sulfates, chlorures, azotates, etc., qui arrivent à se concentrer quand le bassin où elles aboutissent est sans écoulement.

Il n'est donc pas possible de distinguer à première vue entre ces deux cas ; et tout au plus est-il permis de supposer que le dépôt initial en gypse a dû se faire dans des bassins où le chlorure de sodium était moins abondant, tandis que la prédominance de celui-ci déterminait la formation d'anhydrite.

Par suite des conditions spéciales qui ont été nécessaires pour amener ce dépôt du gypse par concentration, les formations gypseuses se localisent dans le temps, comme les formations salines, à certaines époques de prédilection qui correspondent généralement à la fin des grands mouvements orogéniques, au moment où commence à s'établir, sur une sorte de pénéplaine encore incomplètement drainée, un régime fluvio-lacustre à écoulement imparfait, et particulièrement, sur la longueur des chaînes plissées, dans les régions ayant pris, par l'effet de ce plissement, un carac-

[1] 1847. Frapolli. *Faits qui peuvent servir à l'histoire des dépôts de gypse* (B. S. G. F. 2e, t. 4, p. 832). — 1888. Goodchild. *On the natural history of gypsum.* — 1894. Braum. *Ueber Nachbildung von Anhydrit* (N. J. f. M., t. 2, p. 257-264). — 1898. Lacroix. (C. R., t. 126, p. 360 et 553). — Van-t'Hoff, *loc. cit.* — 1900. *Production d'anhydrite dans la mer* (Z. f. pr. G., p. 165). — 1902. Keyes. *Geol. age of certain gypsum deposits* (Amer. geol., t. 30, p. 99 à 102).

[2] Tome 1, p. 222 à 229.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tère continental favorable à l'établissement d'un climat désertique. On trouve ainsi des périodes gypso-salines déjà étudiées à l'occasion du sel[1], mais plus étendues pour le gypse que pour le sel puisque le sulfate de chaux se dépose le premier : d'abord vers la fin du silurien et dans le dévonien des régions boréales (Amérique du Nord, Sibérie, etc.); puis, dans le permo-trias, le long de la chaîne hercynienne en Espagne, France, Angleterre, Allemagne, etc. ; enfin, dans le tertiaire, le long de la chaîne alpine, avec prolongation actuelle du phénomène dans un certain nombre de régions restées désertiques.

La solubilité du gypse a pu, dans une foule de cas, déterminer des *remises en mouvement*, dont il suffit de mentionner la présence et qui ne prennent jamais d'importance industrielle. C'est ainsi que le houiller, recouvert de trias gypseux, offre parfois des failles ou diaclases incrustées de gypse, dont l'origine per descensum et nettement adventive est incontestable.

De même, divers gypses adventifs des Alpes semblent avoir pour origine la dissolution de bancs d'anhydrite par des eaux qui se sont ainsi chargées de sulfate de chaux jusqu'à saturation et l'ont redéposé un peu plus loin.

La comparaison avec les marais salants, permet de reconnaître, dans quelque mesure, d'après le grain du gypse, ses conditions de dépôt.

A rapidité d'évaporation égale, les cristaux de gypse sont d'autant plus gros que la dissolution est plus étendue. Les cristaux isolés de gypse sont ainsi de grandes dimensions, tandis que les grands dépôts des lagunes prennent habituellement une structure saccharoïde.

2° *Gypse de métasomatose.* — Si tout le gypse industriellement exploité a uniquement pour origine les phénomènes d'évaporation qui viennent d'être indiqués et sur lesquels nous allons revenir à l'occasion de quelques gisements particuliers, il faut, à titre minéralogique, mentionner la production du gypse par une voie toute différente, à la suite de réactions chimiques, auxquelles on a voulu à tort autrefois attribuer un rôle même dans la production des gypses sédimentaires. Les cas de ce genre se présentent toutes les fois qu'un sulfure métallifère s'est trouvé en contact avec des calcaires encaissants dans une zone où pouvaient pénétrer des eaux superficielles chargées d'oxygène et susceptibles, en vertu de cet oxygène, de les sulfatiser. On constaterait même le fait beaucoup plus souvent si le gypse, ainsi produit dans des zones où la circulation des eaux était particulièrement active, n'avait pas été, pour la presque totalité, emporté en dissolution. Mais on observe néanmoins, le long d'un grand nombre de filons métallifères à épontes calcaires, en particulier au voisinage des calamines, quelquefois aussi dans les filons de galène plus ou moins altérée en cérusite, l'existence de géodes à grands cristaux de gypse. Les grottes du Laurion grec, avec leurs flèches de gypse de 1 m., de long, en sont un cas typique. On peut également rappeler à ce propos la rencontre, jusqu'à 400 m. de profondeur, de semblables cristallisations gypseuses dans un filon plombifère du district espagnol de Peñarroya.

Le même phénomène a pu naturellement se produire aussi le long des

[1] Tome 2, page 119.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

filons ou amas pyriteux qui ont donné superficiellement des eaux acides, chargées d'acide sulfurique et de sulfates. De simples cristaux de pyrite ont produit également des gypses et célestines, comme ceux que l'on trouve dans les diaclases de la craie sénonienne de Meudon, près Paris[1].

Description des gisements gypseux. — Il serait sans intérêt de chercher à énumérer les gisements gypseux du monde entier, même en se bornant à ceux qui peuvent présenter quelque importance[2]. Nous nous bornerons à des types caractéristiques appartenant aux principales périodes géologiques.

A. GYPSES SILURO-DÉVONIENS

Gypses siluro-dévoniens de Sibérie[3]. — L'ordovicien de Sibérie renferme, entre l'Iénisséi et la Léna, des couches gypsifères et salifères avec argiles rouges dont nous avons déjà parlé à propos du chlorure de sodium. Ces dépôts continuent vers Iakoustk et au Sud de Viliouik dans le grand coude de la Léna. Ces dépôts gypseux forment des bandes Nord-Sud qui traversent la Léna.

De même le dévonien de Krasnoiarsk, dans la région de Minousinsk, renferme, dans sa partie supérieure, des assises gypseuses à teintes variées.

Gypse silurien du Canada[4]. — On retrouve au Canada des formations analogues appartenant à la même phase géologique. Nous avons déjà eu l'occasion d'en parler à propos du pétrole et du sel[5].

B. GYPSES PERMO-TRIASIQUES

La coupe du permien et du trias comprend, comme nous l'avons rappelé déjà :

Juravien	(19)	Gyps-Keuper — Age principal du gypse en Franconie, dans les Vosges et la Meuse.
Tyrolien	(18)	Lettenkohle.
Virglorien	(18)	Muschelkalk — Groupe de l'anhydrite et du sel en Franconie.
		Dolomie — Marnes gypseuses dans les Vosges.
Werfénien	(17)	Grès bigarré — Marnes parfois gsypsifères dans les Vosges.
Permien	(16)	Zechstein — Gypsifère à Stassfurt.

Gypse de Stassfurt. — Le *Zechstein* contient le gisement de gypse de *Stassfurt* décrit à propos du potassium[6] et sur lequel nous ne reviendrons

[1] Voir 1897. Lacroix. *Le gypse de Paris*, p. 278.

[2] Pour la simplicité du langage, nous confondrons, sous le nom de gisements gypseux, les gypses et les anhydrites, qui, nous l'avons vu; ont une même origine.

[3] 1878. *Gypse dévonien de Russie* (Richesses min. de la Russie, Exposition de 1878).

[4] 1889. Taylor. *Gypsum deposits in Manitoba.*

[5] Tome 1, page 503 et suiv., et tome 2, page 120.

[6] Tome 2, p. 102 à 111. — Voir. 1874. Heidenheim. *Gyps Vorkommen in der Zechstein Formation.*

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pas. Nous rappellerons seulement qu'à Stassfurt on trouve le sulfate de calcium : 1° à l'état d'anhydrite dans la zone inférieure, dite du sel gemme pur ; 2° tout à fait au toit des diverses formations salifères, au-dessus des schistes bitumineux, sous forme d'une épaisse couche de gypse et d'anhydrite.

Gypses triasiques de Decize (Nièvre) et de Lurcy-Lévy (Allier)[1]. — La coupe du trias comprend, dans le Bourbonnais : 1° à la base, des grès argileux bariolés de jaune orangé et de violet lie de vin avec bancs de silex, argilolithes, etc. ; 2° à la partie supérieure, l'étage du plâtre.

Cet étage du plâtre renferme des marnes irisées avec bancs de grès intercalés : mais ce qui le caractérise du côté de Decize, c'est l'abondance du mica blanc, orienté suivant des plans de délit, qui divise les bancs en tables minces : d'où leur nom local de grès fissiles. L'absence de carbonate de chaux le différencie pratiquement du plâtre parisien.

Le gypse est exploité surtout à l'Ouest de Lurcy-Lévy, au lieu dit de Grandvaux et aux environs de Decize. Il forme, dans ces régions, des bancs très réguliers alternants avec des argiles grises.

Aux carrières de Lurcy-Lévy, on le divise en trois bancs bien distincts :

Banc du dessus.	0,75 m. à 0,90	Rognons de gypse juxtaposés et séparés par des veines argileuses ayant au plus quelques centimètres d'épaisseur.
Veine marneuse.	0,04 m. 0,06	
Banc des blocs.	0,50 m. 0,60	Rognons de gypse empâtés dans des argiles et souvent assez éloignés les uns des autres.
Filet d'argile. .	0,05 m.	
Banc du dessous.	0,68 m. 0,90	Assise compacte et homogène ne donnant pas de stérile.

Le toit de la couche est formé par un grès extrêmement dur, connu par les mineurs sous le nom de *griffe*.

Enfin, au-dessus de l'étage à plâtre, vient le rhétien, contenant des couches de sablon blanc kaolinisé dont nous avons parlé à propos du kaolin.

Le trias ne contient pas, dans cette région, d'affleurement salin ; mais la présence de la source chlorurée de Bourbon-l'Archambault pourrait faire supposer que certaines strates sont légèrement salifères.

Gypses triasiques de Franche-Comté et de Bourgogne. — La formation gypsifère triasique se retrouve en Franche-Comté, où nous avons eu déjà l'occasion d'étudier des dépôts de sel situés au même étage[2].

Dans le *Jura*, il existe dix carrières souterraines de gypse formant deux groupes principaux : l'un à Salins, l'autre à Arbois et à Grozon. L'exploitation de ces carrières, situées dans le keuper, a produit, dans ces dernières années, environ 20000 t. par an.

[1] Gisement visité en 1888.

[2] Tome 2, page 125.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dans le *Doubs* également, il existe quatre ou cinq carrières de plâtre, en décroissance depuis quelques années, à Champvans, à Beurre, à Verne et aux Fins; leur production est très restreinte.

Dans la *Côte-d'Or*, quelques carrières ont été ouvertes dans le gypse du keuper à Baulme-la-Roche, Mesmont et Ivry-en-Montagne ; leur extraction est d'environ 5 000 t. par an; mais ces exploitations ont peine à lutter contre les plâtres de Paris d'une part et de la Dheune de l'autre.

Gypses de Lorraine[1]. — La coupe du trias lorrain est, d'après Levallois, auprès de la mine de sel de Vic :

Hettangien (21).
Rhétien : couche à Avicula contorta.
(20) dolomie et marne.
gypse supérieur.
marnes.
gypse.
Keuper . dolomie moyenne.
(19) marnes.
grès moyen de Stuttgart.
gypse moyen.
sel exploité.

Quelques-unes de ces couches de gypse sont exploitées : en particulier auprès de Dieuze, au Mont Weinsberg près Heilbronn.

Le gypse, aussi bien que le sel, forme à Dieuze des amas lenticulaires.

Gypses triasiques des Alpes[2]. — Dans les *Alpes*, les dépôts de gypse et d'anhydrite souvent imprégnés de sel (Moutiers, Bourg Saint-Maurice, etc.), sont intercalés dans des schistes gris lustrés remplis de mica et recouverts par un horizon très constant de cargneules ou calcaires dolomitiques, classés, par Favre, à la base du jurassique.

Le même horizon est gypsifère dans le comté de Nice.

Gypses triasiques des Pyrénées et d'Espagne[3]. — Dans les *Basses-Pyrénées* et les *Landes*, on rencontre des argiles bariolées gypseuses et souvent salifères, formant des bandes allongées en relation avec des ophites. Leur âge a été souvent discuté ; mais Seunes a montré qu'elles représentaient des restes de voûtes anticlinales d'un terrain triasique fortement plissé,

[1] 1835. Levallois. *Carrière de gypse du mont Weinsberg près Heilbronn.*

[2] 1816. Brochant de Villiers. *Sur les terr. de gypse anciens qui se recontrent dans les Alpes* (C. R., 11 mars). — 1862. Lory. *Sur le gisement des gypses triasiques des environs de Vizille* (B. S. G. F., 2e, t. 19, p. 720). — 1868. Dieulafait. *Sur les gypses de Ronjan* (B. S. G.F., 2e, t. 25, p. 616). — 1879. Potier. *Gypses de l'ancien comté de Nice* (B. S. G. F., 3e, t. 7, p. 603). — 1894. Bertrand. *Gypse du trias alpin* (B. S. G. F., p. xxx, 19 fév.)

[3] 1862. Noguès. *Sur les gypses secondaires des Corbières* (B. S. G. F., 2e, t. 20, p. 12). — 1862. De Rouville. *Sur l'âge triasique des dépôts gypseux secondaires du midi de la France* (B. S. G. F., 2e, t. 19, p. 683). — 1863. Leymerie. *Sur la formation gypseuse de la Vallée de l'Ariège* (B. S. G. F., 2e, t. 20, p. 245). — 1868. Mussy. *Gypses de l'Ariège* (Ann. d. M., 6e, t. 14, p. 582). — 1888. M. Bertrand. *Mission d'Andalousie*, p. 568. — 1890. Seunes. *Thèse sur les terrains secondaires et l'éocène de la région sous-pyrénéenne* (An. d. M.). — 1892. Carez. *Gypse des Corbières* (B. S. G. F., 3e, t. 20, p. 477). — 1896. Carez. *Coupe des falaises de Biarritz et de Bidart* (B. S. G. F., t. 24, p. 392 et 761).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

avec des inflexions ayant donné lieu à des fractures transversales. Ce plissement est post-nummulitique. L'épanchement des diabases ophitiques, qui occupent l'axe des plis, serait du commencement du crétacé.

A l'occasion de ces lambeaux gypseux du trias, il se pose pourtant encore, non seulement ici, mais aussi dans la chaîne bétique, l'Atlas, etc., un problème non résolu. Dans les Pyrénées, on observe, entre les terrains paléozoïques et la zone secondaire, du trias surmonté en parfaite concordance par le jurassique. Plus au Nord, au contraire, où le trias, accompagné d'ophites, apparaît en îlots, cet étage se montre, tantôt dans le crétacé, tantôt dans le tertiaire, sans jurassique connexe. Si bien que l'on a pu songer ici à une discordance non existante dans le centre de la chaîne, ou encore à des saillies formées et conservées au fond des mers crétacées et nummulitiques grâce à la dureté des ophites, qui seraient elles-mêmes liées au plissement.

Dans l'*Ariège*, il existe des couches régulières de gypse associées aux marnes irisées; en outre, certains amas gypseux sont en relation avec des ophites dans les terrains les plus divers. On les exploite dans de belles carrières, au milieu des marnes supraliasiques, à Arnave, à Avignac et Bédeillac ; dans le nummulitique, vers Betchat, etc.

En *Andalousie*, on retrouve le gypse triasique associé avec du sel exploité à las Salinas, (Ouest de Grenade) et extrait lui-même sur les bords du Genil, au Nord-Ouest de Loja.

Gypses triasiques d'Algérie[1]. — On a considéré autrefois comme éruptifs certains gypses d'*Algérie* et de *Tunisie*, qui se présentent, ainsi que les gypses pyrénéens, à l'état de pointements isolés associés avec des ophites.

Il est aujourd'hui admis que ce sont, dans les deux cas, des représentants du trias, ramenés au jour suivant des anticlinaux qui déterminent leur affleurement au milieu des terrains les plus divers.

Ces gypses, qualifiés d'éruptifs, affectent généralement la forme de dykes, d'amas, et sont chargés par endroits de substances cristallines, quartz, pyrite, tourmaline, anhydrite, barytine, oligiste, ainsi que de fragments de roches encaissantes ou profondes : le tout en relation probable avec le mouvement de plissement oligocène, qui a ramené au jour le trias profond et déterminé la mise en place des ophites, renfermant elles-mêmes fréquemment des lamelles d'oligiste et des indices cuivreux.

C'est au *Djebel Chettaba*, près Constantine, qu'on a trouvé, sur un de ces pointements gypseux, le trias fossilifère. Nous avons déjà parlé de ce gisement à l'occasion du sel.

A *Dublineau*, entre Arzeu et Saida (Oran), on voit une masse centrale, blanche, compacte, de gypse avec croûtes cristallisées d'anhydrite, et de véritables salbandes, où les éléments étrangers, marnes, cagneules, sont disposés verticalement sur les parois du filon gypseux.

Nous avons observé de même à *Rovigo*, près d'Alger, un dyke de gypse contenant des veines verticales d'oligiste cristallisé et particulièrement chargé d'éléments cristallins, tourmaline, pyrite, etc[2].

[1] Coll. Ecole des Mines. 1185, 1221, 1268 à 1270, 1344 à 1347, 1901 à 1911.

[2] Coll. Ecole des Mines, n° 1809. Gisement visité en 1891. — 1891 *Notice sur les roches éruptives d'Algérie*, par CURIE et FLAMAND.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

On peut citer parmi les gisements les plus intéressants, celui d'*Aïn-Nouissy*, ou Noisy-les-Bains au Sud de Mostaganem (Oran), qui a plus de 3 km. de long, et est traversé par des filons d'ophite dont l'âge ne peut être reculé au delà du pliocène. Il s'est développé, dans certains blocs calcaires empâtés, de l'albite et de la wernérite[1].

En Tunisie, une exploitation de plâtre de quelque importance se trouve à *Tebourba*, reliée à la ligne de Tunis à Bône.

Gypse du trias anglais. — La production de plâtre en Angleterre, était, il y a quelques années, de 80000 t., estimées 600000 fr. Le Derbyshire était représenté par trois mines et 13000 t. ; le Nottinghamshire par neuf mines et 50000 tonnes ; le Staffordshire par trois mines et 7500 t. ; le Sussex par une mine et 9500 t. Autrefois, la grande source de plâtre en Angleterre était la mine de *Chellaston* en Derbyshire ; mais sa production est tombée à presque rien. On y rencontrait une remarquable variété de gypse, qui servait comme ingrédient principal à la manufacture des poteries de terre et donnait des plâtres extrêmement fins pour figurines.

Gypse jurassique des Alpes. — Comme type de gypse jurassique, nous citerons les lentilles de gypse intercalées dans les marnes calloviennes des environs de Digne : lentilles associées à des dolomies et qui, d'après Haug[2], auraient une origine lagunaire.

Le même auteur cite également, dans les Alpes françaises, au col du Labouret[3], une intercalation de gypse dans le bathonien, dont le mode de formation lui paraît beaucoup plus douteux et qui pourrait être, suivant lui, le résultat d'un apport hydrothermal.

C. GYPSES TERTIAIRES

Gypse de Paris[4]. — L'éogène parisien présente une série de formations lagunaires gypseuses, dont les principales appartiennent au sannoisien

[1] 1891. Thomas. (B. S. G. F., 6 avril). — 1894. Bertrand. *Sur l'origine de certains gypses du trias algérien* (B. S. G. F., p. XXX, 19 fév. ; Cf. *ibid.*, 1896, t. 24. p. 790, 1072, 1075, 1183. — Lacroix. *Min. de la France*, t. 1, p, 309. — 1903. L. De Launay. *Les Richesses min. de l'Afrique*, p. 237 à 248, avec bibl. p. 238.

[2] Bull. du Service de la carte géologique, juillet 1891. — Cf. Lory. 1874. *Gypse dans le jurassique de Gap* (B. S. G. F., 3e, t. 2, p. 17). — Voir encore, sur les gypses français, 1850. Manès. *Sur les dépôts de gypse des départements de la Charente et de la Charente-Inférieure considérés comme jurassiques* (B. S. G. F., 2e, t. 7, p. 605). — 1888. Arnaud. *Argiles gypsifères des Charentes* (B. S. G., 3e, t. 17, p. 290).

[3] *Loc. cit.*, p. 8.

[4] 1780. Pralon, (Journ. de physique, p. 289). — 1808. Cuvier et Brongniart. *Description géologique des environs de Paris* — 1855. Hébert. *Sur l'origine du gypse du bassin de Paris* (B. S. G. F., 2e, t. 12, p. 766) — 1865. Deshayes. *Sur la faune du gypse parisien* (B. S. G. F., 2e, t. 23, p. 327). — 1875. Vasseur. *Sur quelques vertébrés du gypse des environs de Paris* (B. S. G. F., 3e, t. 3, p. 134). — 1880. Carez. *Etage du gypse auprès de Château-Thierry* (B. S. G. F., 3e, t. 8, p. 247 et 462). — 1897. Wallerant. (Bul. Soc. min., t. 20, p. 173). — 1897. A. Lacroix. *Le gypse de Paris* (Nouv. arch. du Museum, t. 9, p. 200-296 et 8 pl.). — L. Janet. *Etudes diverses sur le gypse parisien.* — 1911. P. Lemoine. *Géologie du bassin de Paris*, p. 255.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

(étage 46; ancien ludien [1]), mais qui avaient déjà préludé par des dépôts analogues dans le lutétien (44) (calcaire grossier), où ils atteignent 8 m. et le bartonien (45), (sables de Bauchamp, calcaires de Saint-Ouen). Ces formations, beaucoup plus continues autrefois qu'elles ne semblent l'être aujourd'hui, n'ont été conservées que là où un manteau sédimentaire les a protégées contre l'érosion. A leur base, les assises du gypse présentent quelques alternances. En haut, le gypse est devenu plus compact et l'abondance des mammifères y accuse les caractères continentaux[2]. Après quoi, se sont déposées des glaises très pyriteuses et contenant même un peu de gypse, auxquelles se relie latéralement le calcaire de Brie, puis des marnes à huîtres, enfin des sables stampiens (47) montrant le retour de la mer.

L'assise du gypse a une épaisseur de 50 m. à Montmartre, de 55 m. à Sannois et Argenteuil, de 30 m. à Enghien. On la retrouve à Romainville, Noisy-le-Sec, Montreuil, etc.

Elle comprend quatre masses principales, numérotées de haut en bas, dont nous donnons la coupe plus loin.

La première masse, la plus constante, la plus étendue et la plus épaisse (elle a 20 m. à Montmartre), est le gisement essentiel des mammifères décrits par Cuvier : Paleotherium Magnum, Paleotherium Medium, Paleotherium Minus, Anoplotherium Commune, Xiphodon Gracile... Elle est formée de gypse saccharoïde remarquable par sa division prismatique qui lui a fait donner le nom de *hauts-piliers*. Des traces de pas montrent que le dépôt s'est fait dans une lagune peu profonde.

Le reste de la coupe est le suivant :

Première masse, à ossements de mammifères.
Marnes à ménilite.
Deuxième masse, (alternances de lits de gypse saccharoïde et de marnes jaunes).
Marne marine jaune à Lucina inornata.
Troisième masse, Marnes à Pholadomya ludensis.
Quatrième masse, peu consistante, recouvrant les sables marins d'Argenteuil.

L'eau qui, en s'évaporant, a produit ces gypses, contenait, comme toujours, un peu de chlorure de sodium, ayant donné lieu à des cristaux dont la dissolution ultérieure ne laisse voir aujourd'hui que les empreintes. Il ne semble pas néanmoins que ce chlorure de sodium ait été très abondant, et c'est peut-être une des raisons pour lesquelles on a du gypse et non de l'anhydrite. La strontiane existe assez fréquemment dans le gypse lui-même et dans les marnes qui l'accompagnent.

Ce gypse, en majeure partie saccharoïde, est un type d'évaporation en liqueurs très concentrées. Quelques zones à plus gros cristaux marquent momentanément des dissolutions plus étendues.

Le gypse parisien est fréquemment un peu calcarifère. Sa qualité est excellente ; son exploitation continue à se faire en grand, avec exporta-

[1] L'individualité du ludien est encore admise par P. Lemoine. Je rappelle que les numéros d'ordre associés aux noms d'étages, se rapportent au tableau général des terrains insérés dans ma *Science Géologique*, p. 222.

[2] Les dépôts franchement marins de cette période se trouvent en Belgique.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tion jusqu'en Amérique et produit près de 900 000 de t., dont 700 000 sont exportées à l'étranger. Certaines variétés très fines sont exploitées comme albâtre aux Vallières, près de Thorigny (Seine-et-Marne).

Le tertiaire de la *Limagne* renferme également quelques lentilles gypseuses sans valeur[1].

FORMATION GYPSO-SOLFIFÈRE (SULFO-GYPSEUSE) D'ITALIE ET SICILE[2]

Nous avons vu[3] que l'étage pontien (56) renferme, en Italie et Sicile, de nombreux dépôts gypseux, avec association de sel et peut-être d'hydrocarbures, intéressants surtout par la réduction en soufre qui a donné des gisements utilisables de cette substance.

En *Sicile*, nous trouvons, au-dessus du minerai de soufre, une masse très étendue de gypse saccharoïde, cristallin ou feuilleté, existant même là où le soufre fait défaut et ayant une puissance de 20 à 80 mètres ; ce gypse paraît être en relation intime avec les gîtes de soufre. On observe, avec lui, un peu de strontiane sulfatée et de baryte sulfatée. Son toit est formé par des calcaires marneux blancs à foraminifères, dits Trubi.

La formation du Schlier, étudiée à l'occasion du sel, est très fréquemment gypsifère[4], sur toute son étendue, en Europe et en Asie.

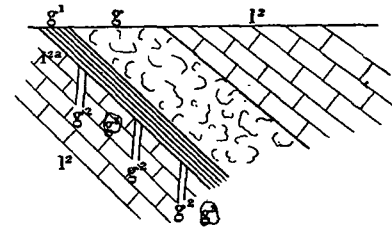


Fig. 176. — Coupe verticale dans une carrière de gypse à l'Ouest de Bréziers (d'après E. Haug).

l^2, calcaire du lias inférieur; l^{2a}, lias décoloré traversé par des bandes de gypse g^2 et englobant des masses de gypse g^3; g^1, gypse stratifié; g, gypse compact.

D. — GYPSES MÉTAMORPHIQUES

D'une façon générale, il y a lieu d'expliquer, par des phénomènes de plissements postérieurs, la plupart des intrusions de gypse donnant l'apparence de gypses éruptifs. Si on soumet à une action mécanique du gypse surmonté de marne, le gypse (comme le sel) viendra former une masse saillante, tandis que les marnes, tout autour, s'émietteront et seront emportées par les eaux. Ou, simplement, sans action mécanique, si certaines parties d'une masse de gypse se sont dissoutes, il en est résulté, aux points correspondants des terrains superposés, des affaissements donnant au gypse subsistant l'apparence de s'être élevé dans un anticlinal.

[1] J'ai eu l'occasion de les étudier, notamment sur la feuille de Gannat dans le stampien, à Naves, Montpensier, Saint-Germain-des-Fossés, etc. — 1844. Pomel. *Sur l'origine du gypse qui existe dans les roches calcaires de la tour de Boulade et du Puy-du-Teiller* (Puy-de-Dôme) (B. S. G. F., 2e, t. 1, p. 587).

[2] 1853. Villanova. *Sur l'âge tertiaire du gisement de gypse en Sicile* (B. S. G. F., 2e, t. 11, p. 85). — 1893. Lotti. *Inclusione liquida nel gesso di Sicilia* (Bol. R. Com. geol. 3 p.).

[3] Tome 1, page 332.

[4] 1851. Nicaise. *Sur les amas de gypse de l'île d'Ormuz* (golfe Persique) (B. S. G. F., 2e, t. 7, p. 279). Nous avons déjà signalé, à l'occasion du soufre, t. 1, p. 341, les gypses tertiaires de la Louisiane.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Cependant, l'existence de gypses réellement métamorphiques, dus probablement à l'action d'eaux sulfatées ou sulfuriquées sur des calcaires, paraît difficilement contestable dans certains cas restreints.

C'est ainsi que nous avons observé en 1883 dans les Alpes, au col du Galibier et au mont Iseran, des exemples particulièrement nets de calcaires localement transformés en gypse le long de diaclases et finissant par former des masses de gypse considérables avec des noyaux de calcaire empâtés.

E. Haug[1] a décrit, au Sud de Gap, à Bréziers, Théris, Notre-Dame du Laus, etc., des faits analogues.

Il donne, par exemple, de la carrière de Bréziers, la coupe ci-jointe (fig. 176), où l'on voit une lentille de gypse non stratifié g, passant au calcaire liasique l^2, qui l'englobe, par l'intermédiaire de gypse stratifié g^1 et d'infiltrations verticales de gypse g^2 suivant des diaclases.

La présence du gypse est là, suivant lui, absolument subordonnée au voisinage de dykes de mélaphyre[2].

E. — ALBATRE

On désigne sous le nom d'albâtre deux corps très différents : l'albâtre calcaire ou oriental, qui est le véritable albâtre des anciens ; l'albâtre gypseux, ou alabastrite, ou blanc vulgaire. Le premier est un carbonate de calcium, le second du gypse exceptionnellement pur ne contenant que 2 p. 100 de calcaire et d'argile. On fait, avec l'albâtre calcaire, des objets d'ornement, coupes, vases, statuettes, etc. On utilise également l'albâtre gypseux pour la fabrication des plâtres alunés (à 2 p. 100 d'alun).

Un des centres principaux d'exploitation d'albâtre gypseux est l'Italie. Les plus belles variétés viennent du Val di Marmolago, près Castellina, au Sud de Livourne. On en extrait également à Volterra en Ombrie, où l'albâtre se présente en nodules et boules, dont les plus importantes ne dépassent pas un tiers de mètre cube (7 à 800 kg), dans les marnes gypso-salines. Aux environs de Paris, près de Lagny (Seine-et-Marne), on voit très bien la troisième masse du gypse parisien se transformer latéralement en albâtre.

[1] *Loc. cit.*, p. 47. — Cf. 1886. Barrois et Offret. *Sur la constitution géologique de la chaîne bétique.* (C. R., 7 juin, 12 et 19 juillet, à propos du gypse des Alpujarras).

[2] Renevier, étudiant des gypses des Alpes Vaudoises, auxquels on avait attribué de même une origine éruptive, a cherché à démontrer qu'ils étaient le produit de l'évaporation de lagunes (*Eclogæ*, t. 2, n° 3).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXXIII

BARYUM ET STRONTIUM

BARYUM

Ba = 137,37

Usages. — Les composés du baryum ont peu d'emplois.

On se sert quelquefois de la *baryte caustique*, d'après une observation ancienne de Boussingault, pour absorber industriellement l'oxygène de l'air et le restituer à une température plus élevée. La baryte employée est extraite du sulfate en passant par le sulfure (réduction au charbon), et par l'azotate. L'hydrate de baryte pourrait servir, comme la strontiane, au désucrage des mélasses ; mais il a l'inconvénient de donner des sels toxiques.

Le *bioxyde* est utilisé dans la préparation de l'eau oxygénée et vaut environ 22 fr. la tonne [1].

Le sel le plus employé est le *sulfate*, soit naturel, soit surtout obtenu par précipitation du chlorure de baryum. Sa couleur blanche, son opacité et son inaltérabilité le font entrer, sous le nom de blanc fixe [2], dans la fabrication des papiers de tenture et des cartons glacés, dans la peinture à la détrempe, etc. Broyé à l'huile, il couvre peu ; mais on le mélange avec son poids de blanc de zinc. En outre, sa densité très forte l'a tout naturellement indiqué à l'attention des falsificateurs de substances blanches. Pour ces divers emplois, la barytine doit être bien blanche et bien exempte de quartz et de fer.

Le *carbonate de baryum* (withérite) sert dans les manufactures de poteries pour neutraliser les sulfates solubles dans l'argile ; dans les verreries, il donne du brillant.

L'industrie du lithophone, qui emploie du *sulfure de baryum* [3], s'est développée en Allemagne, en Angleterre et aux Etats-Unis.

[1] Voir plus haut, tome 1, page 304.

[2] 1857. Gompertz. *Du blanc inaltérable ou blanc fixe* (Cuyper, t. I, p. 265).

[3] (*La Nature*, Inf. 25 septembre 1909). Le lithophone se prépare en mélangeant des solutions de sulfure de baryum et de sulfate de zinc en proportions moléculaires ; le sulfure de baryum est obtenu en chauffant la barytine avec du charbon ou des matières carburées dans une atmosphère réductrice. Le lithophone ordinaire contient 29,5 p. 100 de sulfure de zinc. Cette substance n'est pas altérée par l'hydrogène sulfuré, qui possède, comme on le sait, la propriété de noircir les peintures à la céruse ; le lithophone possède un pouvoir « couvrant » assez fort, mais il a l'inconvénient de devenir gris au soleil.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

L'*iodure de baryum* a des emplois thérapeutiques (traitement de la scrofule).

Le *chlorure de baryum* est utilisé dans la préparation des laques colorantes et des papiers de tenture. Une usine, à Bristol (Tennessee) en fabrique 10 t. par jour.

Le *chlorate* donne des feux verts en pyrotechnie.

Statistique et prix[1]. — La barytine est exploitée de tous côtés en carrières restreintes qui ne donnent pas lieu à des statistiques précises, souvent comme sous-produit sur des filons de plomb. En *France,* on peut en produire environ 12 000 t. à 14 fr. la tonne (prix brut sur la mine), dans la Haute-Loire (4 000 t.), le Lot, la Lozère, le Rhône, etc.

Aux *Etats-Unis,* on produit 60 000 t. et l'on en importe 20 à 30 000. Le prix est d'environ 18 fr. La situation des gisements, trop éloignés de la côte atlantique, ne leur permet pas de se développer davantage. Les principaux états producteurs sont: le Missouri qui en a fourni depuis vingt-cinq ans, la moitié de la production ; la Géorgie ; le Kentucky; le Tennessee; la Virginie.

Le *Canada* exporte environ 3 500 t.

L'*Angleterre* est un gros producteur avec 30 à 32000 t. (barytine et withérite).

En *Allemagne,* les meilleures qualités viennent du Harz et de la Thuringe. On cite dans le Harz, district de Cassel, la mine de Chattenberg, à Allendorf et les environs de Schmalkalden, notamment à Münden, près Nentershausen.

En *Italie*, quelques carrières de la province de Côme produisent 6 à 7 000 t.

En *Espagne*, de petites carrières sont situées dans la province de Tarragone.

Géologie du baryum[2]. — Le baryum forme deux minerais, deux composés naturels principaux, assimilables à ceux du calcium : le sulfate, ou *barytine,* tenant 58,84 p. 100 de baryum qui est de beaucoup le principal, et le carbonate, ou *withérite,* à 69,60 de baryum. Mais la baryte est, en outre, beaucoup plus répandue qu'on ne le croit d'ordinaire, à l'état d'élément constituant des roches cristallines. Un mètre cube de gneiss peut contenir 8 à 10 kg. de baryte. La teneur moyenne de l'écorce terrestre est d'environ 0,03 p. 100 de baryum.

L'orthose renferme couramment plus de 0,10 p. 100 de baryte et atteint 4 p. 100, sans même parler de la hyalophane, ou orthose de baryte, qui en contient jusqu'à 15. L'oligoclase va de 0,3 à 0,8.

[1] Voir *Mineral Industry*, t. 2 et 13, une histoire de l'industrie de la baryte. — Le chlorure de baryum cristallisé vaut en détail 0,40 le kg; la withérite, 0,35 fr. le kg; le sulfate de baryum naturel, 0.25 fr. kg ; l'iodure de baryum, 0,65 ; le sulfite de baryum, 4 fr.

[2] 1879. Roth. (*Allgem. ch. Geol.*, p. 568). — 1894. Clarke et Hillebrand. *Analysis of Rocks* (Un. St. geol. surv., n° 148). — 1895. Högbom. (Geol. Fören. Förh., p. 137). — 1896. Stelzner. (Z. f. pr. G., oct.). — 1897. De Launay. *Contr. à l'étude des gites métallifères,* diverses analyses de minéraux barytiques, d'après les notes de A. Lacroix. — 1902. Delkeskamp. *Die weite Verbreitung des Baryums* (Z. f. pr. G., p. 117 à 126).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

On retrouve, dans le pyroxène, 0,20 à 0,30 de baryte et, dans les micas (biotite ou muscovite) des teneurs pouvant atteindre 6 p. 100. Il existe également des anorthites de baryte; et, dans bien des plagioclases, la baryte a dû être confondue avec la chaux.

Par un phénomène intéressant à noter de suite pour l'utiliser dans une discussion ultérieure, cette baryte des roches se concentre volontiers dans les minéraux d'altération, tels que les zéolites (6,6 dans la brewstérite ; 20,6 dans l'harmotome ; 26,84 dans l'edingtonite). C'est un premier cas d'une remise en mouvement qui, ici, s'est opérée sur place et qui, dans d'autres cas, a eu lieu avec un transport plus ou moins accentué. La teneur en baryte des roches détermine, en outre, la présence fréquente du même métal, non seulement dans le sol arable, mais dans les eaux ordinaires ou minérales, et, par conséquent, dans l'eau de la mer.

Sous quelle forme se fait cette dissolution ? Le sulfate de baryum passe pour remarquablement insoluble. Il faut, à 18°, environ 400 000 parties d'eau pour dissoudre une partie de baryum et cette solubilité diminue encore quand il s'agit de masses compactes. Mais, comme il arrive toujours, la dissolution est facilitée par la présence des divers principes que l'on trouve constamment dans les eaux des terrains géologiques, notamment par celle de l'acide carbonique qui joue un si grand rôle dans toutes ces réactions lentes par dissolutions très étendues, ou encore par l'association d'autres sulfates. De même, le carbonate de baryum se dissout en quantités rapidement croissantes avec la tension de l'acide carbonique (2 gr. par litre à 18° pour 98 centimètres de mercure) ; et les sels ammoniacaux augmentent également sa solubilité. Enfin on sait que le sulfure de baryum et le chlorure de baryum sont solubles dans l'eau (ce dernier avec dégagement de chaleur.

Il est donc vraisemblable que l'acide carbonique sous pression, le sulfate de fer provenant de la pyrite avec association de matières organiques réductrices et les chlorures divers des eaux doivent intervenir. Mais la dissolution est nécessairement instable et tend vite à précipiter, en sorte que la baryte se redépose souvent presque sur place et se concentre ainsi peu à peu dans toutes les altérations superficielles. On peut citer, comme preuve bien évidente d'une telle remise en mouvement de la baryte, sa concentration sur certains fossiles : plantes du grès bigarré à Soultz-les-Bains, en Alsace ; ammonites liasiques de Vaihingen, près Neuheim ; fossiles jurassiques à Alençon, Nancy, Nontron (Dordogne), Whitby (Angleterre) ; plantes des grès tertiaires de Kreuznach, etc. et son dépôt actuel dans les sources thermales de Lamalou et du Lautenthal[1]. J'ai accumulé autrefois les exemples de barytines concentrées dans la zone de cémentation des filons avec le bioxyde de manganèse, et parfois le cobalt ou l'argent[2]. La disparition tellement fréquente de la barytine quand on s'enfonce dans la profondeur des gîtes métallifères semble prêter une certaine généralité à cette observation, même dans le cas des filons de barytine exploitables que nous allons examiner.

[1] Daubrée. *Eaux souterraines aux époques anciennes*, p. 322. — 1902. Deskelkamps. (Z. f. pr. G., p. 125). — Coll. Ec. des M., 1259 (Lamalou).

[2] *Contrib. à l'étude des gîtes métallifères*, p. 49 à 56.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Gisements de barytine. Généralités. — La barytine forme d'innombrables filons dans les massifs hercyniens d'Europe. On la connaît moins fréquemment dans les massifs primaires septentrionaux plus arasés, où, de toutes manières, les filons d'une part, et, de l'autre, les altérations superficielles, avec lesquelles nous venons de voir la relation fréquente de la barytine, font à peu près défaut. Elle est également relativement peu abondante dans les chaînes tertiaires, peut-être parce que, sur celles-ci, l'érosion a moins souvent atteint ou approché les roches cristallines granitiques et gneissiques, auxquelles nous sommes porté à rattacher l'origine de la baryte. La même observation s'applique en gros aux Etats-Unis, où la barytine provient du Sud de la plate-forme primitive enveloppée par les plis hercyniens (Missouri, Kentucky, Tennessee, Géorgie, Caroline et Virginie). Cependant il faudrait se garder de généraliser cette remarque ; car il existe fréquemment de la barytine en filons dans les terrains primaires, et même, d'autre part, dans le tertiaire.

Les filons de barytine peuvent, tout au moins pratiquement, se diviser en plusieurs groupes : le premier formé d'une association presque constante de la barytine avec la fluorine et le quartz, dans laquelle des sulfures métalliques, pyrite ou galène, apparaissent parfois à titre subordonné ; le second, constitué par des filons métallifères de tous genres, plombeux, cuprifères, cobaltifères, antimonieux, manganésifères, etc., dans lesquels la barytine accessoire joue le rôle de gangue. On peut ajouter les cas déjà signalés plus haut, mais souvent exploitables, où des concentrations en masses, nodules, etc., se sont produites sur des affleurements. Tous ces cas demandent à être discutés avec soin ; car il se pose, à propos de la barytine, comme nous avons eu l'occasion de le dire dans les premiers chapitres, un des problèmes les plus délicats de la métallogénie [1].

A. — FILONS DE BARYTINE, FLUORINE ET QUARTZ, SANS MÉTAUX SULFURÉS

Ce cas passe, par bien des transitions, à celui des filons sulfurés métallifères à gangue barytique ; cependant il n'est pas toujours certain que ces deux groupes de filons aient une même origine.

On trouve, de tous côtés, dans le Plateau Central, les Vosges, la Forêt Noire, le Harz, la Bohême, etc., de petites veines ou veinules renfermant l'association de la barytine, de la fluorine et du quartz. Nous nous contenterons de les étudier avec quelques détails dans le Plateau Central. Les observations que l'on pourrait faire sur les autres régions hercyniennes seraient comparables.

Plateau central. — Ces veinules, qui apparaissent encaissées, comme nous allons le dire, dans les terrains les plus divers, semblent souvent, au premier abord, sans aucune continuité. Cependant le fait que leur faisceau est suivi, notamment dans les deux cas de *Néris* et de *Plombières*, par des eaux à forte thermalité, semble indiquer que les fractures en question (gardant ou non en profondeur la même minéralisation) se prolongent jusqu'à 1 500 ou 2 000 m. de profondeur. Ce sont des

[1] Voir tome 1, p. 134 à 137.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

filons de ce groupe, mais atteignant 1 m. et plus de largeur, que l'on exploite pour barytine ou fluorine aux environs de *Brioude*, *Langeac et Massiac*, dans la Haute-Loire. Ils s'y associent géographiquement avec le groupe des filons à galène, stibine et boulangérite, également barytifères, de *Freycenet*[1], dans lesquels la barytine se développe vers la surface avec l'oxyde d'antimoine et la boulangérite, tandis que, plus profondément, le quartz se substitue à elle, en même temps que se séparent la stibine et la galène. Ces filons sont encaissés dans le gneiss.

Ailleurs, la barytine est rarement en quantité suffisante pour être utilisée ; mais ses gisements n'en présentent pas moins de l'intérêt. Ainsi, dans la Creuse, le décrochement quartzeux si remarquable d'*Évaux-Saint-Maurice*, en relation avec lequel se trouvent les veines de pyrite aurifère aujourd'hui exploitées pour or au Châtelet, contient très fréquemment de la barytine et de la fluorine (Château-sur-Cher, Saint-Maurice[2]). Ces filons recoupent le dinantien, au milieu duquel leurs veines s'intercalent constamment, tandis que le stéphanien des mêmes régions n'en renferme pas ; ce qui me les a fait autrefois considérer comme d'âge intermédiaire entre ces deux terrains et contemporains des stibines associées à des microgranulites, si abondantes dans la même région[3]. Cependant, il est certain que beaucoup des barytines du Plateau Central sont plus récentes. On a généralement considéré la plupart comme triasiques sans raison suffisante. Il en est, en tout cas, de tertiaires, ainsi que nous allons le montrer en examinant les gisements où ces filons recoupent des terrains sédimentaires classés par ordre d'âge croissant.

On sait, en effet, qu'après son émersion wetsphalienne, le Plateau Central et ses annexes, comme le Morvan, ont été l'objet, sur leurs bords, de transgressions partielles ayant, suivant les points, commencé pendant le permien, le trias, le lias, le jurassique, ou seulement pendant l'oligocène. On trouve, dans ces terrains transgressifs d'âges divers, des filons de barytine qui montrent tout au moins la prolongation du phénomène jusqu'à l'époque miocène. La forme de filons-couches que ces épanchements ont parfois prise a conduit à les envisager comme contemporains du trias, dans lequel cette imprégnation a été d'abord observée. Nous allons voir le même fait se reproduire dans des terrains beaucoup plus récents.

Si nous allons, par exemple, dans l'Allier, où la transgression sur les roches cristallines et les synclinaux stéphaniens s'est faite à l'époque permienne, nous trouvons, à *Bourbon-l'Archambault*[4], des carrières de grès permien directement superposées au gneiss et contenant des veinules de barytine et fluorine, en rapport probable avec un filon de quartz, barytine, célestine, fluorine et galène, le long duquel sort la source thermale.

A l'autre extrémité du Plateau Central, dans le bassin de Brive, où la

[1] Gisements visités en 1901. — Voir Dorlhac. *Filons barytiques et plombifères des environs de Brioude* (Bul. Soc. Ind. Min., t. 8, 3e liv. 168 p.).

[2] 1902. L. De Launay. Feuille d'Aubusson et Bul. Serv. Centr. géol., n° 83.

[3] Au Sud du plateau central, nous allons voir des filons semblables recouper les grès houillers.

[4] 1888. L. De Launay. *Mém. sur les sources minérales de Bourbon l'Archambault* (An. d. M., mai-juin, p. 27). Coll. Ec. d. M. 3032.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

transgression est du même âge, des filons de barytine avec un peu de pyrite et de galène, recoupent également les grès stéphaniens et le permien. Mouret les a signalés à *Loubignac* dans le houiller. Ils sont connus depuis longtemps à *Chabrignac* (Corrèze) dans le permien[1].

Le trias présente souvent le même phénomène. Près de *La Châtre* (Indre), où ce trias passe directement sur les micaschistes, l'arkose triasique renferme des bancs de quartz carié avec barytine et galène, à allure interstratifiée[2]. Mais on constate fréquemment ailleurs, quand des terrains plus récents sont représentés au voisinage, que l'imprégnation minéralisante a pénétré également dans ceux-ci. J'ai décrit autrefois le fait le long du massif de Saint-Saulge[3], où les failles-limites ont été incrustées de quartz et barytine à Saint-Martin, etc. On peut voir, au Nord de ce massif, à *Champallement*, du quartz, accompagné de barytine et de galène, traverser la microgranulite pour aller s'infiltrer dans le grès hettangien superposé à celle-ci.

Dans le Morvan, au Nord d'*Avallon*, et plus à l'Est, vers Thoste, c'est le sinémurien lui-même qu'ont pénétré des venues analogues[4] et de Beust a signalé, sur le plateau de Thoste, dès 1840, des gryphées arquées incrustées de galène, avec association de quartz, barytine et pyrite cuivreuse. De ce côté, dans l'Auxois, le rhétien et l'hettangien du bassin ont été entièrement silicifiés et souvent chargés de barytine. On connaît également, plus au Sud encore, les anciennes concessions de *Chilry aux Mines*[5], près Corbigny, où le groupement quartz-barytine-fluorine-galène imprègne les marnes irrisées, qui sont là directement superposés au granite.

Dans l'Ouest du Plateau Central, on voit encore, à l'Ouest de Confolens, un système de filons quartzeux avec barytine et galène (*Alloue et Ambernac*[6]) pénétrer dans les calcaires horizontaux du lias moyen.

Enfin, l'on constate, jusque dans l'oligocène, la prolongation des mêmes minéralisations. Nous avons pu suivre, sur la bordure Ouest de la Limagne Bourbonnaise et de la Limagne d'Auvergne, à *Verneuil* (Allier), aux environs de *Châtel-Guyon* et *Saint-Hippolyte* (Puy-de-Dôme), des filons de quartz à barytine suivant des failles qui ont influencé l'oligocène[7].

Dans le Gard, on retrouve des phénomènes du même genre le long des failles du système d'Alais.

Le rapprochement de tous ces faits montre que le phénomène, peut-être commencé après l'émersion westphalienne, s'est, en tout cas, prolongé jusque dans le tertiaire. Il est impossible d'y voir une simple sécrétion

[1] 1891. Mouret. *Bassin houiller et permien de Brives*, p. 133, 179, 317.

[2] L. De Launay. Feuille de Montluçon.

[3] 1895. L. De Launay. *Le massif de Saint-Saulge* (B. S. Carte géol. n° 46, p. 17 et 22).

[4] De Beust. *Kritische Beleuchtung der Wernerschen Theorie.* — 1885. Michel Levy et Velain. Feuille d'Avallon.

[5] 1834. Virlet d'Aoust. *Sur le plomb sulfuré de Courcelles-Frémoy* (Morvan). (B. S. G. F., 1re, t. 4, p. 44). — 1835. Nodot. (B. S. G. F., 1re, t. 7, p. 49). — 1879. *Reunion de Semur de la Société géologique* (B. S. G. F., 3e, t. 7, p. 769, 885, 922). — 1888. Michel Levy et Delafond. Feuille de Château-Chinon.

[6] L. De Launay. Feuilles de Confolens.

[7] L. De Launay. Feuilles de Moulins et de Gannat.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

latérale directement empruntée aux terrains encaissants. Ces terrains sont très divers et ne présentent rien de spécial en ce qui concerne la baryte. Il y a eu apport à distance, soit par voie superficielle, soit par voie hydrothermale, dans des conditions dont nous remettons la discussion au moment où nous aurons achevé d'énoncer les faits dont cette discussion doit tenir compte.

B. — FILONS DE BARYTINE PLOMBIFÈRE

Dans les filons du groupe précédent, nous avons déjà vu intervenir les sulfures métalliques ; leur rôle devient généralement prépondérant dans les filons que nous allons maintenant examiner.

Un grand nombre de régions à filons plombifères présentent, parmi eux, des filons à gangue barytique. Beaucoup de ceux-ci se montrent à nous nettement comme des modifications superficielles de filons à gangue quartzeuse retrouvés plus profondément. Sur certains autres, on voit la barytine se poursuivre en profondeur ; mais les filons où elle apparaît ont été presque partout décrits comme recoupant les filons quartzo-plombifères et parfois comme incrustant des réouvertures postérieures de ceux-ci, en sorte qu'on peut toujours être tenté de les considérer comme dus à une remise en mouvement. Nous verrons plus tard que les filons à gangue de calcite semblent, d'ordinaire, appartenir à une venue encore postérieure.

Parmi les cas, où la barytine a disparu en profondeur sur un filon plombeux et où, en même temps, la teneur en argent a subi une chute brusque correspondant à la disparition des minéraux nobles, on peut citer le *Sarrabus* en Sardaigne, où cette modification est en rapport direct avec le niveau hydrostatique actuel, ce qui ne peut guère laisser de doute sur son origine, et où, en même temps, la barytine s'accompagne de fluorine abondante. Tandis que la barytine a cessé pour faire place au quartz, la fluorine a continué en profondeur avec des sulfures complexes.

A *Aurouze*, dans la Haute-Loire, des filons de galène étaient assez riches en barytine à la surface, pour qu'on ait exploité spécialement cette substance : ils sont devenus quartzeux en profondeur.

Dans une foule d'autres cas, nous constatons, sur des affleurements plombifères, des sortes de chapeaux barytiques destinés à se coincer rapidement quand on s'enfonce. Telle est probablement l'origine de quelques gisements exploités spécialement pour barytine, comme le filon de *Fleurus* en Belgique encaissé dans le calcaire carbonifère sous les sables et limons[1]. On a là, dans une zone dont on connaît la métallisation abondante en plomb, zinc, etc., pu suivre, sur 500 m. de long, une masse barytique très pure, qui atteint en un point près de 100 m. de large. Cette barytine est, en général, sableuse et grenue, c'est-à-dire cristallisée en petit avec des rognons, des zones plus compactes, des parties géodiques, etc. Vers l'Est, elle se charge de galène.

De même, aux *Etats-Unis*, d'après les renseignements géologiques très incomplets que nous possédons, on semble avoir affaire à des concentrations superficielles sur des filons.

[1] *Gites métal.*, I, 579, avec coupe. — Coll. Ec. des M., 1279.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les filons de barytine du *Kentucky,* remarquablement exempts de silice et de fer, traversent, sur 80 m. de haut, la formation de Trenton (Lexington) avec une épaisseur de 1 m.

En *Géorgie*, près.Cartersville, la barytine est dans une argile sur une formation de quartzite.

Dans le *Tennessee*, elle forme également des nodules dans une argile de décalcification qui surmonte la dolomie de Knox.

On peut encore signaler, au S.-W. de la région aurifère d'*Andavokoera* à Madagascar, que nous décrirons plus tard, l'abondance extrême des affleurements barytiques sur un groupe de filons plombifères et zincifères. On a trouvé là très exceptionnellement de la barytine à or natif.

Ailleurs, avec des filons du même genre, se pose le problème de la prolongation en profondeur. Dans les champs de filons de Freiberg, Annaberg, Przibram, Mies, dans le Harz à Clausthal, en France à Vialas, etc., on a trouvé, de tous côtés, des venues barytiques recoupant des filons quartzo-plombifères plus anciens et donnant lieu, dans ceux-ci, à des réouvertures, avec production aux croisements de poches à enrichissements argentifères. Il est à remarquer que ces filons barytiques (Schwerspath Formation, Barytische Blei) sont ceux où l'on a observé les types les plus remarquables de concrétions régulières parallèles aux parois, de géodes donnant des minéraux cristallisés : en un mot, ceux où les actions hydrothermales présentent le caractère le plus incontestable. Il est évident qu'il y a eu là circulation d'eaux chaudes presque semblables aux eaux thermales actuelles, dans lesquelles il arrive encore d'observer (comme à Lamalou, Hérault) des dépôts contemporains de barytine. D'autre part, ces venues de barytine métallifères sont souvent accompagnées de minéraux, auxquels nous attribuons un caractère d'altération : par exemple de cérusite et de pyromorphite à Mies, de cuivre gris à Annaberg, d'argent natif et d'argent rouge à Freiberg, Przibram, etc. Enfin, à ces venues barytiques ont, d'ordinaire, succédé des veines avec calcite, dolomie, etc., qui témoignent d'un dépôt hydrothermal, encore plus analogue aux formations presque superficielles d'aujourd'hui. Néanmoins ces gisements ont pu être suivis jusqu'à 3 ou 400 m. de profondeur sans disparition de la baryte. On y retrouve d'ordinaire l'association habituelle avec la fluorine qui, dans toute hypothèse, doit être retenue comme caractéristique de la plupart des gisements de barytine (Annaberg, etc.).

C. — FILONS DE BARYTINE COBALTIFÈRE

Ce groupe des barytines cobaltifères est souvent, en même temps, argentifère par suite de la concentration fréquente de l'argent avec le cobalt. Des filons de ce genre, abondants dans l'Est de la forêt Noire, ont été spécialement étudiés par Sandberger[1] en vue de fournir une base à sa théorie de la production des filons par lessivage direct des roches encaissantes. Ils renferment souvent de la galène. Leur dimension atteint 10 m. à Zelle et Schapbach, 1,50 m. à Wittichen. Les analyses des roches encaissantes ont donné, comme partout, une certaine proportion de

[1] 1877. (B. u. H. Z., 2 nov., p. 377).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

baryte, mais sans qu'on ait pu établir aucun rapport entre l'abondance de la baryte dans les roches encaissantes, ou entre l'état d'altération de celles-ci et la production des filons barytiques : ce qui, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, prouve la grande complexité du phénomène étudié, quelle que soit l'origine réelle de la gangue barytique.

D. — FILONS DE BARYTINE CUPRIFÈRE

Certains filons de barytine cuprifère ont montré avec évidence la disparition de la baryte en profondeur au moment où le cuivre gris, minerai de cémentation, disparaît pour laisser place à la chalcopyrite originelle ou à la pyrite cuivreuse. Tel est le cas des nombreux filons de cuivre gris avec barytine et avec sidérose (souvent aussi minerai d'altération), que l'on trouve dans la *Sierra Nevada*, en *Algérie*, dans les *Alpes Illyriennes*, etc. Parfois même la barytine disparaît longtemps avant le cuivre gris. Ainsi elle a été remplacée par du quartz à partir de 100 m. dans les filons de cuivre gris argentifères d'*Huanchaca* en Bolivie, qui semblent, par leur situation dans un pays très élevé, à plus de 5.000 m. d'altitude, avoir subi une altération particulièrement profonde.

Dans l'*Ariège*[1], il existe de même beaucoup de filons barytiques ayant été exploités, dans lesquels la barytine s'associe avec de la pyrite de fer cuivreuse plus ou moins altérée et avec de la galène. Ces filons traversent le dévonien à Castelnau, le trias près Rimont, le lias près Caumont, sur les bords du Sarlat.

E. — FILONS DE BARYTINE AVEC STIBINE

Les stibines primaires, dont on peut comparer la profondeur de cristallisation à celle des microgranulites, sont généralement à gangue quartzeuse et exemptes d'autres sulfures métalliques, à l'exception de la pyrite ; mais la stibine se retrouve dans un groupement tout différent à l'époque tertiaire, avec des sulfures complexes (et même du cinabre), généralement influencés par des altérations secondaires. Parfois alors la barytine y apparaît. Ainsi, à *Felsobanya*, en Hongrie, des tables de barytine enveloppent des baguettes de stibine. A *Charmes*, dans l'Ardèche, une dolomie triasique a été imprégnée de minerais sulfurés et de silice dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment au Nord du Plateau Central et l'on y trouve une association de barytine avec stibine.

A *Malbosc*, dans l'Ardèche, les filons de stibine, qui recoupent les micaschistes, mais dont l'âge réel est inconnu, contiennent de la barytine et de la calcite.

F. — ASSOCIATION DU BARYUM ET DU MANGANÈSE

Cette association est particulièrement fréquente et se traduit même par l'abondance d'un minéral où manganèse et baryum se sont combinés, la psilomélane. C'est un des cas où l'on constate le mieux l'influence des altérations superficielles et souvent la disparition en profondeur.

[1] 1868. Mussy. (Ann. d. M., 6e, t. 14, p. 579.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Si nous commençons par les cas où l'altération est manifeste, on peut signaler les barytines argentifères de *Milo* [1], qui constituent des concentrations de barytine avec minéraux d'argent nobles et manganèse oxydé dans des poches d'argile d'une douzaine de mètres de profondeur, encaissées au milieu de trachytes ou de liparites. Ce sont, suivant toutes vraisemblances, des affleurements de filons sulfurés altérés. On peut y remarquer l'association de la barytine avec le manganèse et avec l'argent que nous aurons bien d'autres occasions de signaler.

De même à *Romanèche*, la psilomélane s'accompagne de fluorine, qui accentue le rapprochement avec le groupe précédent. Les altérations, les géodes et stalactites sont visibles de tous côtés dans ce gisement, que nous étudierons au chapitre du manganèse [2].

CONCLUSIONS SUR L'ORIGINE DE LA BARYTE

Nous venons d'insister longuement sur le développement de la baryte dans les altérations superficielles et sur sa disparition fréquente en profondeur. La concentration de la baryte par remise en mouvement n'est donc pas douteuse. Il faut ajouter que la présence de la barytine uniquement à l'état d'oxysel dans des filons métallifères, où tous les métaux proprement dits sont restés à l'état sulfuré, demande une explication si l'on admet, dans ces gisements, pour le baryum, la même origine profonde que pour ces métaux. Nous avons cependant fait remarquer que, dans certaines mines, on avait néanmoins pu suivre la barytine jusqu'à 3 ou 400 m. de profondeur : ce qui n'exclut pas absolument l'idée d'une concentration par altération superficielle ancienne selon la théorie précédemment développée [3], mais ce qui la rend plus difficile à admettre sans preuve directe. Enfin, nous avons vu la barytine accompagner une série de sulfures métalliques : plomb, cuivre, cobalt, argent, antimoine, etc., comme si elle faisait réellement partie de leur groupement originel. Il en resulte une difficulté qu'on ne doit pas négliger d'aborder si on veut réellement essayer de comprendre ce qui a pu se produire dans la formation des filons métallifères.

La solution classique du problème consistait autrefois à admettre que la baryte était arrivée de la profondeur à l'état de sulfure de baryum (ou, si

[1] L. De Launay, Ann. d. M. Bull. Sept. *Les minerais d'argent de Milo.*

[2] Voir encore pour quelques gisements non décrits :

1852. Villanova. *Sur un gisement de baryte sulfatée de Laize-la-Ville* (Calvados). (3. S. G. F., 2e, t. 4, p. 388). — 1877-78. E.-T. Hardman. *On the Barytes Mines near Bawtry* (Sc. pr. Dublin Soc., n° 1 et 3, p. 121 du t. 1 ; J. of the r. geol. Soc., new. ser., t. 5, p. 99. — 1890. E.-S. Dana. *Barium Sulphate from Perkin's mill, Templeton. Province of Quebec* (Am. J. of Sc., t. 39, p. 61. New-Haven). — 1898. V. Kraatz Koschlau. *Die Baryt Vorkommen des Odenwaldes* (Z. f. pr. G, p. 257). — 1900. Delkeskamp. *Schwerspath Vork. in der Wetterau und Rheinhessen* (Notizbl. d. Ver. f. Erdkunde 4 Folge. Darmstalt, 39 p.). Le gisement de baryte sulfatée de *Laize-la-Ville*, dans le Calvados, avait été décrit par Villanova comme d'origine sédimentaire et contemporaine d'un calcaire marbre silurien dans lequel on le trouve encaissé. Il résulte, en réalité, d'infiltrations très postérieures.

[3] Voir tome 1, pages 202 à 206.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'on veut, de chlorure) et que ce sulfure, atteignant les zones superficielles de l'écorce en présence d'un milieu oxydant, s'était précipité à l'état de sulfate de baryum. Cette interprétation, qui pourrait, à la rigueur, être admise si la superficie actuelle était la même que la superficie au moment où les filons de barytine se sont incrustés, est difficilement compatible avec l'intensité des érosions subies par les régions où cette barytine se rencontre. En outre, la continuation de la barytine dans certains cas jusqu'à 3 ou 400 m. de profondeur, que nous signalions tout à l'heure comme une objection à un dépôt par altération superficielle, est une objection encore bien plus forte à l'idée d'une influence superficielle exercée à une époque où cette profondeur, au lieu de 400 m., en aurait dû atteindre 1.500 ou 2.000 m.

Faut-il donc supposer, même pour de tels gisements, un apport direct de la baryte par en haut? Un tel phénomène semble vraisemblable pour les apports de certains autres corps que l'on trouve dans la zone tout à fait superficielle, la zone de peroxydation des filons; et nous sommes portés à expliquer ainsi l'introduction du phosphore et du vanadium. On pourrait également la soutenir pour la barytine, puisque la baryte préexiste dans les granites et gneiss et se retrouve, par suite, dans un certain nombre de sédiments. La fluorine, qui l'accompagne d'ordinaire, viendrait du lessivage des micas lithinifères et aurait subi l'action précipitante de matières organiques, qui l'auraient en même temps colorée. Enfin les métaux connexes pourraient avoir pour origine des filons antérieurs remis en mouvement. Sans doute certaines veines ou filons barytiques ont cette origine. Toutefois nous ne voyons guère la possibilité d'admettre une telle explication pour des filons profonds comme le Barytische Blei de Freiberg, et nous sommes disposés à admettre alors, pour le baryum, l'idée d'un apport interne analogue à celui que nous supposons pour le plomb. Plomb et baryum, ayant une origine profonde commune, auraient, en raison de leurs divergences chimiques, subi une précipitation par des voies différentes.

Peut-être encore pourrait-on voir, dans ce cas-là, l'effet de circulations hydrothermales plus assimilables aux eaux thermales actuelles : eaux thermales relativement récentes n'ayant reçu aucun ou presque aucun apport de fumerolles profondes et s'étant contentées de dissoudre les éléments rencontrés sur leur chemin. Ces eaux ont pu se trouver chargées d'acide carbonique abondant et sous pression, qui aurait accru leur action minéralisatrice. Elles représenteraient une sorte de cas intermédiaire entre les venues réellement filoniennes comme celles de l'étain et les eaux thermales actuelles, de même que les filons d'étain sont eux-mêmes un intermédiaire entre les venues ignées et les venues hydrothermales, le tout formant une chaîne continue. Quant à l'oxygène, qui a déterminé ici un précipité de sulfate, et non de sulfure comme pour le plomb et le zinc, on ne pourrait guère chercher son origine que dans la dissociation de la vapeur d'eau. Les sources thermales en renferment bien un peu : mais, si elles avaient eu à accomplir des oxydations profondes, elles l'auraient vite perdu.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CARBONATE DE BARYUM (WITHÉRITE)

La withérite, rhomboédrique comme la strontianite et l'aragonite, accompagne la barytine dans certains filons traversant des terrains calcaires : notamment en Angleterre où on l'exploite pour la fabrication de certaines pâtes céramiques. On cite les gisements de Fallowfield en Northumberland et d'Alston-Moor en Cumberland. Dans ces derniers, des filons de galène avec withérite traversent le carbonifère.

STRONTIUM

Sr = 87,6

Usages. — On utilise une certaine quantité d'hydrate de strontiane dans la fabrication du sucre pour l'extraction du sucre des mélasses. Dans cette industrie, on a le choix entre la chaux, la magnésie, la baryte et la strontiane. Chacun de ces corps a ses inconvénients ; mais la chaux est généralement préférée à cause de son bon marché Cependant, quelques raffineries[1] ont adopté la strontiane, qui leur arrive généralement d'Allemagne à l'état d'hydrate à 9 équivalents, parfois aussi à l'état de carbonate.

La méthode repose sur la formation, dans les solutions sucrées, d'un saccharate distrontique insoluble à l'ébullition. Celui-ci, mis en suspension dans l'eau et traité par l'acide carbonique, restitue le sucre en donnant du carbonate de strontium. La strontiane aurait beaucoup d'avantages sur la baryte pour cet usage si elle n'était pas aussi chère. On a également proposé le chlorure de strontium pour la purification des jus sucrés.

En dehors de cet emploi, on consomme un peu d'azotate de strontiane comme matière colorante rouge pour les feux d'artifice, et l'on a parfois proposé de remplacer particllement la magnésie par la strontiane dans les garnissages basiques. On fait quelques applications des sels de strontiane en médecine[2].

Géologie. — Les deux minéraux principaux du strontium, la *strontianite*, ou carbonate, $SrCO^3$ à 59,75 de strontium et la *célestine*, ou sulfate, $SrSO^4$ à 47,69 p. 100 de strontium, sont, l'un et l'autre, assez rares dans la nature[3].

Mais tout ce que nous avons dit plus haut pour la dissémination du

[1] Notamment, la raffinerie Say, à Paris.

[2] La strontiane caustique vaut au détail 10 fr. le kg. ; la strontiane hydratée 2 fr. ; le chlorure de strontium cristallisé 1,40 fr. ; le chlorure de strontium pur fondu 15 fr. ; l'iodure de strontium 40 fr.

[3] Nous ne mentionnerons que pour mémoire la *Baryto-célestine* (sulfate double de baryte et strontiane) et la *Brewstérite* (zéolithe à base de baryte et de strontiane) qui sont des raretés minéralogiques.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

baryum s'applique également au strontium, en proportion plus faible. On a reconnu la présence du strontium dans un grand nombre de minéraux : notamment dans les orthoses, où la proportion signalée ne dépasse pourtant pas 0,36 p. 100; dans certains micas, pyroxènes, etc. De là ce corps passe dans les eaux et aboutit à la mer. Comme la baryte, la strontiane se concentre dans les réactions superficielles, souvent en même temps; d'où la formation des veines et noyaux de célestine et, accidentellement, des baryto-célestines. Cependant l'évolution géologique des deux métaux n'est pas identique.

La strontiane joue un rôle tout à fait insignifiant sous la forme de célestine dans les filons concrétionnés, où nous venons de noter l'abondance de la barytine; et, d'autre part, soit à l'état de strontianite, soit surtout en célestine, la strontiane se développe en quantités relativement abondantes dans divers terrains sédimentaires. Pratiquement toute la strontiane utilisée vient de veines pseudo-filoniennes, où s'est produit, au milieu d'un terrain sédimentaire, une localisation de strontianite, qu'on est tenté de comparer, comme processus de formation, aux veines de giobertite.

Mais nous aurons, en outre, à signaler, dans des cas assez nombreux, la précipitation de sulfate de strontium pouvant accompagner le gypse dans des produits de saturation (Paris, Sicile, etc.), pouvant aussi s'isoler simplement dans certains calcaires, et la présence accidentelle du même corps dans les gangues de filons du groupe plombifère.

Strontianite [1]. — La strontianite n'a été, longtemps, l'objet d'aucune exploitation. Elle n'était, en effet, connue que minéralogiquement dans de rares localités, parmi lesquelles nous citerons : Strontian en Ecosse, dans des filons plombeux traversant le gneiss; la chaussée des géants en Irlande (dans le basalte); Clausthal dans le Harz; Braünsdorf en Saxe (mine Neue-Hoffnung-Gottes); Léogang près Salzburg; le mont Gaveradi (Grisons); la plaine de la Transylvanie (dans le Diluvium); Schoharie, aux Etats-Unis (dans un calcaire hydraulique); Montréal au Canada (dans des schistes anciens), etc. [2].

Vers 1875, on a découvert une série importante de gîtes de strontianite, qui ont longtemps alimenté le marché, mais tendent à s'épuiser, en Westphalie, aux environs d'*Ahlen*.

La strontianite forme, dans cette région, tout un réseau de filons, dont l'orientation oscille autour de la ligne Nord-Sud avec des ramifications dans des directions très variables et qui recoupent des argiles marneuses sénoniennes à Bélemnitella mucronata (38).

[1] Coll. Ecole des Mines, 1684 (Ahlen). — 1881. Menzel. *Beschreibung der Strontianit Vorkommen in der Gegend von Drensteinfurt* (Ab. der K. preus. geol. Landesanstalt und Berg Ac. Berlin, p. 125). — 1882. V. Foullon. *Ueber das Strontianit Vorkommen in Westphalen* (Verh. der KK. geol. Reichs, nos 14-17, p. 346. Vienne. — 1883. Schalch. *Ueber ein neues Strontianit Vorkommen bei Wildenau* (Leipzig, Zitz. Ber. der Naturf. Gesell., p. 76). — 1903. Beykirch. *Ueber den Strontianit des Münsterlandes* (Z. f. pr. G., p. 77).

[2] Un gisement, signalé en 1891 par Jannettaz dans les calcaires daniens de Meudon (B. S. G. F., t. 29, p. 41), est attribuable à une confusion.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ces filons, que l'on a assimilés à des fissures de retrait, ont une puissance variable de 0,01 m. à 0,50 m. et une longueur souvent considérable.

On n'estime pas à moins de 44 km. leur longueur totale, en les supposant mis bout à bout; mais, en revanche, leur extension dans la profondeur paraît peu considérable.

Le remplissage est formé uniquement de strontianite, à laquelle un peu de calcite est seule parfois associée.

L'exploitation, vers 1876, a atteint un moment plusieurs milliers de tonnes.

Célestine. — Le sulfate de strontium est relativement abondant par rapport au carbonate, comme la barytine par rapport à la withérite, mais sans donner nulle part de gisements exploitables un peu en grand.

Quand l'eau de mer s'évapore, il se dépose, en même temps que le sulfate de calcium, un peu de sulfate de strontium ayant sans doute, si on remonte assez loin, la même origine première, dans les feldspaths des roches cristallines. Aussi les terrains d'évaporation lagunaire contiennent-ils souvent de la strontiane.

Le fait a été bien étudié à *Paris*, où le gypse sannoisien (46) peut renfermer des inclusions de célestine.

Il existe, d'après A. Lacroix, des rognons de célestine entre la première et la seconde masse du gypse ; mais ce minéral forme surtout des dépôts dans les marnes supragypseuses oligocènes à Cyrena convexa et sa proportion est assez forte pour qu'on puisse en extraire par an quelques centaines de kilogrammes, sous forme de galettes aplaties à fissures de retrait bien marquées [1].

D'autre part, on retrouve, dans le même bassin, la célestine disséminée à titre minéralogique dans la craie sénonienne (38), le thanétien (51) et l'argile plastique sparnacienne (42).

Cuvier et Brongniart ont signalé, dès 1817 [2], dans la craie de Meudon (40), des tubulures cylindriques renfermant de la célestine, qui a incrusté, d'autre part, des fissures du silex ou pénétré dans des Ananchytes et dont l'origine secondaire n'est, par conséquent, pas douteuse. Munier-Chalmas [3] a retrouvé la célestine dans des marnes blanches, produites par la décalcification de calcaires montiens (danien supérieur) à Meudon. Dans l'argile plastique (42), la célestine s'est déposée de même sur des fragments de lignite. Il s'agit donc, dans tous ces cas, d'une véritable sécrétion latérale ayant concentré superficiellement la strontiane empruntée à des épaisseurs de terrains aujourd'hui détruits.

Le nombre de ces constatations dans la région parisienne n'est sans doute attribuable qu'au soin particulier avec lequel cette région a été explorée et il est probable que beaucoup d'autres régions à dépôts gypseux doivent présenter des phénomènes analogues. Une de ces régions, où l'abondance de la strontiane prend une intensité toute parti-

[1] 1897. Lacroix. *Le gypse de Paris*, p. 230, 255 et 286. — 1874. De Lapparent. *Sur l'âge des marnes strontianifères de Meudon* (B. S. G. F., 3e, t. 2, p. 593).

[2] Cuvier et Brongniart, *loc.* p. 74.

[3] 1897. Munier-Chalmas. (B. S. G. F , t. 25, p. 88.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

culière, est celle des soufres de *Sicile*[1]. Là, le strontium est abondant, même dans les calcaires, où sa teneur est fréquemment sensible; et le fait est d'autant plus curieux que la barytine, au contraire, fait défaut. Il est à présumer que les roches cristallines d'où provient cette strontiane, appartenaient à un système surtout strontianifère. Les altérations superficielles importantes, qui ont donné au calcaire encaissant le soufre l'aspect caractéristique du briscale, ont pu également avoir leur influence dans la concentration du strontium. Mais c'est surtout dans les gisements mêmes du soufre que la célestine prend une abondance tout à fait remarquable et constitue le groupement minéralogique bien connu du soufre et de la célestine.

La célestine a été signalée encore dans les marnes du miocène supérieur des environs de *Girgenti* (Sicile), et notamment à Favara près Licata[2], où elle forme de petites lentilles et des filets minces associés au gypse et, accidentellement, à la calcite, l'aragonite et l'opale.

A. Lacroix a constaté de même la présence de la célestine associée au soufre des *Tapets* (Vaucluse).

Un gisement plus important est celui qui est situé dans le ravin *du Rouet,* commune de *Condorcet,* arrondissement de Nyons (Drôme).

Le filon de strontiane sulfatée de Condorcet a été décrit par Lachat[3].

Le terrain est, suivant lui, formé, dans cette région, de couches allant du lias au tertiaire avec de nombreuses lacunes : c'est-à-dire d'oxfordien, de néocomien, d'aptien et d'éocène.

Dans un pli anticlinal des couches accompagné de fracture, se trouve un filon de célestine de 5 m. de large, contenant de la galène et de la blende, mais pas de pyrite ni de quartz. Cette célestine se présente, par suite, dans les conditions où l'on rencontre habituellement la barytine, accompagnant des minerais métallifères.

Dans les roches encaissantes du mur qui sont des marnes et argiles oxfordiennes, séparées, comme nous le dirons, presque partout du filon par un amas de gypse, on trouve fréquemment des boules géodiques de marne intérieurement tapissées de célestine. Au toit, dans des calcschistes qu'on a considérés comme du lias relevé par la fracture, la célestine forme de nombreuses veinules avec calcite cristallisée et blende jusqu'à 200 et 300 m. du filon principal.

Au contact du filon et à son mur, se présente un important amas de gypse d'environ 50 m. d'épaisseur paraissant résulter de l'action des eaux sulfureuses ayant déposé la strontiane sur les calcaires encaissants. Il semble, d'ailleurs, y avoir, entre le gypse et la célestine, une sorte de passage. Près du contact, le gypse est transformé en tuf empâtant de gros fragments anguleux de célestine inaltérée. Des efflorescences de

[1] Voir plus haut t. 1, p. 338. — Cf. 1877. DIEULAFAIT. (C. R., p. 1303 et t. 97, p. 51. — SPEZIA. *Sull origine del Solfo,* p. 56. — Colt. Ec. d. M. 1730.

[2] Coll. Ecole des Mines, 1730. On trouve, dans les mêmes terrains, en veines irrégulières dans les argiles et associé au gypse, le *sulfate de sodium,* qui forme l'objet d'une petite exploitation.

[3] 1881. LACHAT. *Sur le filon de célestine de Nyons* (Drôme) (Ann. d. M., t. 20, 6e liv.). — 1892. MICHEL. *Sur quelques minéraux de Condorcet* (Drôme) (Bull. Soc. Min., 11 fév.). — Coll. Ec. d. M. 1325.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

sulfate de magnésium et de chlorure de sodium recouvrent souvent cet amas.

La strontiane sulfatée, qui forme la masse du filon, est, en général, très blanche et pure et ressemble un peu par son aspect à de l'anhydrite fibreuse. Elle s'en distingue aisément par ses caractères ordinaires, en particulier par la couleur rouge carmin qu'elle communique à la flamme.

Les boules qu'on rencontre dans les marnes oxfordiennes atteignent 0,20 m. de diamètre ; toute leur surface est étoilée par des veines de célestine traversant la masse. Quand on les brise, on trouve toujours, à l'intérieur, une belle géode avec des scalénoèdres aigus de calcite, quelques rares cristaux de quartz et de la célestine fibreuse formant le remplissage principal.

L'intérêt de ce gisement est son allure nettement filonienne.

Comme il forme une roche fissurée au milieu d'épontes peu perméables, il livre encore aujourd'hui passage à une source chlorurée qui dissout, sur son passage, un peu de sulfate de strontiane.

On peut rapprocher de ce gisement celui de *Bourbon l'Archambault*, où, d'après des renseignements communiqués autrefois par de Gouvenain[1], la célestine a été rencontrée associée à la barytine, à la fluorine et à la galène dans le filon d'où proviennent les sources thermales et dans les fissures qui, plus haut, recoupent le grès permien.

La célestine a été signalée encore à l'état de minéraux isolés dans de nombreuses localités telles que[2] : Bex (Suisse) ; Dornburg près Iena (Prusse) ; Jühude près Göttingen ; Aust-Ferry, près Bristol (Gloucestershire) ; Retzbanya (Hongrie) ; Sernajagora (Russie) ; côte Quiaios et Buarcos à l'Ouest de Coïmbra (Portugal) ; Conil et Montellano en Andalousie, avec soufre natif cristallisé ; lac Ervé ; Vallée de Logan en Pennsylvanie.

[1] 1887. L. De Launay. *Les sources thermales de Bourbon l'Archambault*, (Ann. d. M.). et *Sources thermo-minérales*, p. 64, 256 et fig. 9, p. 63. — Coll. Ec. d. M., n° 3032.

[2] 1879. S.-M. Babcock. *Ueber den Celestin aus dem Muschelkalke von Jühude bei Göttingen* (N. J. Min., p. 835). — 1879. Fr. von Hauer. *Ein neues Vorkommen von Cölestin im Banate* (Ver. der KK. geol. Reich. Vienne). — Koch. *Célestine à Thorda* (Siebenbürgen) (Tschermak. nouv. sér. t. 9, p. 422).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXXIV

MAGNÉSIUM. GLUCINIUM. THORIUM ET TERRES RARES

MAGNÉSIUM

Mg — 24,32

USAGES[1]

On utilise le magnésium métallique, ou ses composés, tels que le chlorure de magnésium, la magnésie, le carbonate de magnésium (giobertite ou magnésite), le carbonate double de magnésium et de calcium (dolomie), les silicates (talc, stéatite, écume de mer, saponite, serpentine, néphrite).

Le **magnésium métallique** est employé sous forme de poudre ou de rubans pour produire une lumière intense, très riche en radiations chimiques (photographie, pyrotechnie, signaux). Un fil de 0,297 mm. de diamètre donne un éclat de 74 bougies. Un peu de magnésium métallique sert comme désoxydant dans les manufactures de laiton (par addition de 0,05 p. 100). En Allemagne, on en fait un alliage avec 90 à 98 p. 100 d'aluminium, sous le nom de magnalium. Cet alliage léger (densité 2,5) peut être forgé, moulé, est très peu attaquable, résiste mieux à la tension que l'aluminium, mais se vend cher, de 6 à 10 fr. le kilogramme.

La fabrication du magnésium se fait notamment à Holcombs Rock, aux Etats-Unis, où l'on en produit, par électrolyse, 250 kgr. à 10 fr. le kilogramme.

Le **chlorure de magnésium**, outre son emploi pour la préparation du magnésium, sert aussi comme apprêt des étoffes de coton.

La **magnésie**, extraite, comme nous le verrons, de la giobertite, peut être plus ou moins complètement calcinée. Elle sert, depuis longtemps, en thérapeutique. Ses autres usages sont: *a*) les ciments magnésiens; *b*) les produits réfractaires et la métallurgie; *c*) la verrerie; *d*) l'apprêt des toiles; *e*) les produits chimiques, l'éclairage oxhydrique, etc. Nous allons examiner, à ce propos, toutes ces applications, qui utilisent également d'autres sels magnésiens[1].

a) *Ciments magnésiens.* — La magnésie caustique, avec une solution de chlorure de magnésium, donne un bon ciment (ciment Sorel). On

[1] 1871. Bender. *Agglomérés magnésiens* (Bull. Soc. Chim., t. 15, p. 42). — 1883. Rigaud *Note sur les emplois industriels de la magnésie.*

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

utilise de même les propriétés hydrauliques du silicate de magnésium pur et sa rapide combinaison avec les mucilages, pour produire des stucs très durs et susceptibles d'un beau poli. On emploie le fluosilicate de magnésium pour le moulage des ornements. On fabrique des meules d'émeri artificielles en les agglutinant avec de l'oxychlorure de magnésium. On obtient également, par le mélange des oxychlorures et des silicates avec des sables quartzeux, des pavés très durs et non glissants.

b) *Produits réfractaires.* — La magnésie pure, comme la chaux, est un corps pratiquement infusible; mais ce qui constitue la grande différence entre ces deux matières, c'est que la chaux ne présente qu'une cohésion bien faible, une résistance presque nulle à l'usure, tandis que la magnésie, au contraire, forme des masses solides et résistantes, qui ne se délitent pas sous l'action des agents atmosphériques.

La difficulté, pour en faire des soles ou des creusets, est de l'agglomérer suffisamment. On y a réussi partiellement en mélangeant la magnésie calcinée avec une solution de matières gommeuses ou sucrées, ou encore avec des brais goudronneux. On a surtout obtenu de bons résultats en ajoutant à la magnésie en fine farine des argiles très grasses, dont la proportion peut être abaissée à 15 p. 100 environ. Mais, pour certains usages où l'argile aurait eu une influence nuisible, ainsi pour la calcination du bicarbonate de soude, on a dû recourir à divers artifices, consistant, par exemple, à humecter la magnésie calcinée et pulvérisée avec une très petite quantité de dissolution d'un des sels magnésiens facilement décomposables par la chaleur : chlorure, carbonate, sulfite et azotate de magnésium. On comprime la pâte et l'on recuit doucement.

Les briques, vendues sous le nom de magnésie, ne sont, en réalité, que des briques silico-magnésiennes qui tiennent jusqu'à 20 p. 100 de silice. On les obtient, soit par l'action de la silice sur le carbonate de magnésium naturel, soit par celle du silicate de sodium sur la magnésie calcinée, en présence de l'eau.

Pour réduire la proportion de silice, on forme la pâte à briques avec de la magnésie calcinée en fine farine obtenue par un brassage de la giobertite pendant la calcination et l'on ajoute une faible proportion de silice très fine produite par la mouture de la silice fossile qui sert à préparer la dynamite ou de silice gélatineuse.

c) *Verrerie.* — Dans la verrerie, la magnésie bien pure est employée en mélange dans les corps à fondre; elle permet une notable économie de manganèse, et donne le moyen d'obtenir certaines colorations difficiles.

d) *Apprêt des toiles, calicots et papier blanc.* — On peut encore utiliser la magnésie de préférence au plâtre, à la baryte et au blanc de zinc, en raison de son éclatante blancheur et de son adhérence plus forte aux fibres pour faire l'apprêt des étoffes et papiers blancs.

e) *Produits chimiques.* — On emploie une quantité de magnésie assez forte pour la fabrication des eaux minérales artificielles, de la magnésie des pharmaciens. Enfin, on a proposé, à diverses reprises, de retirer l'azote des eaux d'égout au moyen de la magnésie. On préparerait, pour cela, une solution concentrée d'acide phosphorique par l'action de l'acide sulfurique sur les phosphates, on mélangerait cette solution aux eaux azotées, et on ferait passer sur un lit de magnésie calcinée, où l'on

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

recueillerait un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien restituant tout le phosphate employé et l'azote des eaux.

Le **carbonate de magnésium** est surtout appliqué à la fabrication de l'acide carbonique gazeux par calcination en cornues. Le résidu est de la magnésie calcinée. Il est de plus utilisé en grand par les fabricants de papier de bois Ekmann.

En traitant du carbonate de magnésium en suspension par un courant d'anhydride sulfureux, on obtient du bisulfite de magnésium, qu'on fait agir, dans une chaudière sous pression, sur du bois déchiqueté et écrasé. L'action du sel sur le bois donne une masse qu'il suffit de comprimer et de laver pour obtenir, d'une part, la pâte très blanche (revenant à peine à 50 fr. les 100 kg.), et, de l'autre, une solution gommeuse produite par l'action du sulfite de magnésium sur les résines des bois. Cette solution peut être employée pour l'apprêt des tissus.

On part également du carbonate pour obtenir le sulfate, soit en traitant par l'acide sulfurique, soit, plus économiquement, en opérant par double décomposition sur le carbonate de calcium.

La **dolomie** trouve son application dans la déphosphoration des aciers comme absorbant de l'acide phosphorique.

Les premiers essais ont été faits sur des cornues Bessemer, que l'on a garnies en pisé magnésien ; puis on a étendu l'usage de la magnésie aux soles des fours à acier et enfin au garnissage des cubilots. Comme une certaine proportion de chaux est nécessaire d'autre part pour éliminer le soufre, on a utilisé les dolomies qui, outre l'avantage de fournir à la fois chaux et magnésie, coûtent assez bon marché, bien que l'emploi de la dolomie donne lieu à des frais d'entretien fort élevés et à des réparations gênantes pour la continuité du travail. Cependant on remplace parfois, dans les fours basiques, la dolomie par de la magnésie fortement calcinée.

D'autre part, en traitant la dolomie par l'eau chargée d'acide carbonique, on dissout d'abord le carbonate de magnésium, qui se précipite quand on dégage l'acide carbonique par la chaleur.

Le **sulfate de magnésium** est l'élément principal des eaux purgatives.

Le **talc** (silicate acide, $(SiO^3)^4Mg^3H^2$) sert, en raison de son onctuosité, pour polir le verre et les métaux, graisser les machines, faire glisser les chaussures et les gants, préparer les crayons de pastel. On a exploité les talcs de l'Ariège pour les ajouter au sulfate de cuivre qui forme la bouillie bordelaise et rendre ainsi celle-ci plus adhérente sur les feuilles.

Les variétés fibreuses servent, avant tout, dans les manufactures de papier, de préférence au kaolin, pour donner du poids et de la consistance, tandis que le kaolin rend cassant. Mis en poudre, le talc est employé pour des peintures qui retardent la combustion, pour les savons, les poudres de toilettes et pour la falsification de nombreuses substances blanches. Le talc vénitien permet d'enlever l'huile des étoffes de laine, etc. Le prix était, il y a quelques années, à New-York, de 70 fr. la tonne. Il est très variable suivant la qualité. C'est ainsi que les qualités supérieures d'Italie et de France parviennent à pénétrer aux Etats-Unis malgré le droit d'entrée.

La **stéatite**, ou **talc compact**, qui, en poudre, a les mêmes usages que le talc ordinaire, sert, en outre, coupée en morceaux, comme crayon blanc

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

des tailleurs. On emploie des plaques de stéatite dans les fourneaux ou cheminées. On peut la tourner au tour, ou en faire des tubes en forant. On en confectionne ainsi des becs de gaz. On en fait des isolants électriques, etc.

On rapporte à la stéatite une partie des substances, dans lesquelles les Chinois sculptent leurs figurines.

La **saponite**, ou pierre à savon (soapstone), est un silicate analogue, dont l'individualité minéralogique reste douteuse.

La variété de stéatite, dite pierre à savon, est réellement employée comme sorte de savon par les arabes du Nord de l'Afrique qui la tirent du Maroc.

L'**écume de mer** [$(SiO^3)^3Mg^2H^2 + 2$ à $4\ H^2O$] est employée pour faire des tubes, des têtes de pipes, des brûleurs de becs de gaz.

La **serpentine**, en grande masse, forme une belle pierre d'ornement. D'abord facile à travailler quand on vient de l'extraire, elle durcit à l'air. On en fait des encriers, des mortiers, des vases, etc.

La **néphrite** de Chine et de Sibérie est une forme de trémolite très compacte à enchevêtrement de fibres très fines, tenant jusqu'à 56 p. 100 de magnésie, que l'on utilise sous le nom de jade.

En résumé, les **minerais naturels**, d'où l'on extrait les divers produits magnésiens, sont les carbonates ou giobertites [1], les dolomies, les chlorures de magnésium de Stassfurt et certaines eaux minérales. Le groupe des silicates trouve, en outre, les applications directes qui viennent d'être énumérées.

STATISTIQUE ET PRIX [2]

Les statistiques des produits magnésiens sont assez difficiles à établir. La production de **giobertite** dans le monde peut monter (1909) à 200 000 t. par an, dont 125 000 viennent d'Autriche-Hongrie, 56 000 de Grèce (île d'Eubée), 8 000 de Californie. La production de l'Inde, très irrégulière, est montée de 188 t. en 1907, à 7 655 t. en 1908, pour retomber à 749 t. en 1909. Les Etats-Unis, outre leur production, importent à eux seuls près de 100 000 t. Le prix moyen, dans ces dernières années, a été d'environ 15 fr. la tonne à l'état cru, 60 fr. à l'état calciné. La giobertite de l'Eubée se vend crue 30 fr. la tonne, 90 fr. après calcination à 600°, 130 fr. après calcination complète à 1600°-1700°.

La production de **chlorure** et **sulfate de magnésium** est fournie presque totalement par le bassin de Stassfurt (82 à 87 000 t.)

La consommation de **dolomie** est au moins de 150 à 200 000 t. par an.

On peut citer, comme pays producteurs de **talc**, les Etats-Unis, la France et l'Italie. Les *Etats-Unis* produisaient, en 1892, 46 000 t. de talc fibreux à 70 fr. la tonne et 17 100 t. de pierre à savon, ou stéatite, à environ

[1] On donne souvent aux giobertites le nom de magnésite : ce qui entraîne des confusions fréquentes avec l'écume de mer.

[2] Voir *The mineral industry* de 1908, 1909 et 1910,, articles magnésite et talc. — Au détail, le magnésium en fils vaut à Paris 70 fr. le kg. ou 35 fr. en poudre; le chlorure de magnésium anhydre 25 fr.; le carbonate pulvérisé 1,50 fr.; le sulfate de magnésie ordinaire 0,30 fr.; la magnésie calcinée légère 3 fr.; la magnésite (giobertite) 2 fr.; le talc 0,30 fr.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

100 fr. la tonne. En 1908, on est monté à 70 000 t. de talc fibreux à 49 fr. et 46 000 de soapstone à 61 fr. Le talc fibreux, variété azalite, vient du comté de St Lawrence et de Gouverneur (N. Y.) et le soapstone, ou stéatite, de la Virginie, d'Easton en Pennsylvanie, du Massachusetts, de la Caroline du Nord.

Le *Piemont*, autour de Pinérolo, notamment à Roure, produit (1910) 11 580 t. de talc fibreux à 61 fr. Nous mentionnerons également en Italie des carrières à l'île d'Elbe.

En *France*, on cite, comme carrières de talc, celles de l'Ariège, de la Garde (Isère), de la Voûte Chilliac (Haute-Loire). La production française de talc, stéatite et amiante est évaluée, pour 1907, à 34 700 t. à 31 fr. la tonne, dont 32 300 t. viennent de l'Ariège.

En *Espagne*, la province d'Alméria et la province de Malaga produisent aussi quelques centaines de tonnes.

L'*Autriche* absorbe sa propre production.

Le *Canada* produit environ 1 600 t. à Madoc (Ontario).

ROLE GÉOLOGIQUE DU MAGNÉSIUM

La magnésie est, en pétrographie, l'élément basique par excellence : le corps qui, beaucoup plus que le fer, caractérise les roches basiques. L'origine première de toute la magnésie, concentrée plus tard dans d'autres gisements, est à chercher dans les silicates magnésiens de ces roches : la serpentine qui en renferme 44 p. 100, le péridot (35 à 50), l'enstatite (35), l'hyperstène (15 à 20), la trémolite (24 à 28), la hornblende (4 à 20), le diopside (18), l'augite (13 à 16), l'actinote (22), la serpentine (44), la biotite (16 à 20), la phlogopite (27 à 28), le grenat pyrope (jusqu'à 22), etc. La teneur en magnésie de toute l'écorce terrestre est, par suite, de 4,40 p. 100, très analogue à la teneur en chaux (4,80).

Cette magnésie peut entrer en dissolution sous la forme de sulfates, chlorures ou carbonates, dans les eaux superficielles. Si, par exemple, une eau froide chargée de sulfate de calcium est mise au contact d'une roche magnésienne, elle se chargera, par double décomposition, de sulfate de magnésium. Le carbonate de magnésium est également soluble en présence de l'acide carbonique et se trouve, par suite, dans la plupart des eaux de sources ainsi que dans l'eau de mer. Nous verrons comment il en résulte la formation des giobertites, talcs, etc. D'autre part, une certaine proportion de magnésie arrive à la mer où, pour 1 000 parties d'eau, on a 3,91 de chlorure de magnésium, 1,69 de sulfate et 0,07 de bromure. Cette magnésie peut alors se précipiter dans les dépôts, qui correspondent à un état de concentration suffisamment avancé. Le magnésium se sépare là du calcium pour rester avec les métaux alcalins; mais sa place ordinaire dans la nature est à côté du calcium, dans les sédiments ou les roches cristallines, comme dans les gangues de filons, etc. On peut comparer les veines de giobertite, dont il va être question bientôt, aux veines de calcite, les gangues de dolomie à celles de calcite ou de sidérose[1].

[1] 1897. L. De Launay. *Contr. à l'étude des gîtes métal.*, p. 59.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

GISEMENTS DE GIOBERTITE

Les gisements de giobertite se présentent, d'ordinaire, sous la forme de filons et veines directement dérivés de roches serpentineuses par altération superficielle.

L'île d'*Eubée*[1] fournit le meilleur type de ce genre de gisements. Des exploitations y ont été, depuis longtemps, organisées par des sociétés françaises. Les filons, situés à quelques kilomètres de la côte, sont exploitables par carrières dans des conditions avantageuses.

On cite, dans le domaine de Mandoudi, des filons encaissés au milieu de schistes talqueux à proximité de serpentines. Des sources magnésiennes, minéralisées par leur passage à travers ces terrains, ont, dans la même région, tapissé un grand nombre de fissures blanches de quelques millimètres d'épaisseur, en y déposant un mélange de carbonate de magnésium et de silice, plus résistant que les schistes encaissants et, par suite, mis en relief par l'érosion atmosphérique. Les filons exploités ne sont que deux de ces veines d'une importance exceptionnelle. Sur celui du Cerf on a extrait environ 20 000 t. de giobertite et moitié moins sur celui de Kalamaki. Cette giobertite, une fois triée (densité 2,85), arrive à tenir 47 p. 100 de magnésie, avec peu de chaux, de fer et d'alumine. La production est vendue environ 70 fr. la tonne.

En *Autriche*, à Kraubath et Oberdorf (Styrie), la giobertite existe également en masses exploitables. Des installations nouvelles ont été organisées à Radentheim par une compagnie américaine.

En *Italie*[2], on produit par an, dans la province de Turin, 625 t. de giobertite et 600 t. de magnésie calcinée, auxquelles il faut ajouter 1 800 t. de sulfate de magnésium. A l'île d'Elbe, il s'est produit, sur le flanc Est du mont Capanne, au contact du granite et de diverses roches serpentineuses, des altérations ayant donné lieu à un réseau de filonnets de carbonate de magnésium utilisés.

En *Afrique Australe*, on a signalé un important gisement près de la ligne de Johannesburg à Delagoa, près de Kaap Muiden.

Dans l'*Inde*, à Salem (Chalk hills), dans la présidence de Madras, se trouvent des gisements considérables de giobertite couvrant une superficie de plus de 800 hectares et se présentant en abondantes veines irrégulières dans une dunite ultrabasique. Le minerai est d'un blanc presque parfait, sa densité est de 3 environ et sa dureté de 5. Il contient de 96 à 97 p. 100 de carbonate de magnésium et très peu de silice, de chaux, d'oxyde de fer et d'alumine. En 1908, on a produit 7600 t.; en 1909, 750 t.

Au *Vénézuéla*, on a organisé récemment, dans l'île de Margarita, une exploitation susceptible, dit-on, de produire 12 000 à 15 000 t.

A titre minéralogique, on peut encore mentionner la présence de la

[1] Coll. Ecole des Mines. 1882.

[2] 1903. D'Achiardi. *La formazione della magnesite all'isola d'Elba* (Lav. Ist. di Min. dell' Univ. di Pisa). — 1910. Lotti. *Geologia della Toscana*, p. 269.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

giobertite (magnésite) dans le bassin de Paris, en association avec du gypse [1].

GISEMENTS DE DOLOMIE [2]

La dolomie, $(CO^3)^2CaMg$, renferme 45,79 de $MgCO^3$ contre 54,21 $CaCO^3$, ou 24,26 de magnésie.

L'origine des dolomies a donné lieu à beaucoup de discussions, et l'on ne saurait s'en étonner alors que la formation, certainement beaucoup plus simple à expliquer, des calcaires demeure encore, par bien des côtés, si obscure. Dans un très grand nombre de cas, il nous paraît incontestable que la dolomie résulte d'une altération superficielle ou métasomatose.

Nous n'avons pas, dans ce cas plus que pour aucun autre phénomène géologique, à considérer les effets de l'eau pure, qui n'intervient que dans les laboratoires. Dans les conditions réelles et ordinaires de la nature, en présence d'une eau chargée d'acide carbonique, le carbonate de magnésie est plus soluble que le carbonate de chaux ; mais celui-ci l'est beaucoup plus que le carbonate double de chaux et de magnésie ou dolomie, qui tend par suite à se former et se nourrit progressivement en fixant sur le calcaire toutes les traces de magnésie, auparavant éparses dans les terrains avoisinants.

Si l'on compare la dissolution de la dolomie dans l'eau à 15° avec celle de quelques autres corps, on voit que, pour 1 de calcite, il se dissout 0,025 de dolomie (0,476 d'aragonite et 0,757 de cérusite). L'eau saturée d'acide carbonique dissout à la même température 0,31 gr. de dolomie par litre, 1,954 gr. de bicarbonate de magnésium et 0,385 gr. de bicarbonate de calcium. La calcite peut commencer par absorber une proportion relativement forte de carbonate de magnésium, jusqu'à 4 p. 100, sans cesser d'être de la calcite. C'est au delà seulement qu'il se produit de la dolomie. Inversement, dans l'attaque de la dolomie par l'eau chargée d'acide carbonique, nous avons vu que le carbonate de magnésium tendait à se dissoudre le premier.

On doit, à notre avis, considérer comme un effet de réactions semblables, la présence tellement fréquente de dolomie au contact de tous les minerais altérés, encaissés dans les calcaires, et notamment des calamines.

[1] Voir encore. 1847. Ch. Sainte-Claire Deville. *Carbonate de magnésie en rognons botryoïdes recueilli à la surface d'une lave à la Guadeloupe* (B. S. G. F., 2e, t. 5, p. 66). — 1894. Pohlmann. *Magnésite de Juan Fernandes au Chili* (Z. f. pr. G., p. 72). — 1898. *Neue Magnesit Lagerstätten im Gebiete der Liesing und Palten in Obersteiermark* (Z. f. p. G., pr. 268).

[2] 1879. A. Renard. *Des caractères distinctifs de la dolomie et de la calcite dans les roches calcaires et dolomitiques du calcaire carbonifère en Belgique* (Bull. Ass. Roy. Belg., t. 57). — 1879. Th. Liebe. (Z. d. D. geol. Ges., t. 31, p. 764). — Justus Roth. (*Allgem. u. chem. Geologie*), — 1890. Spring. *Sur la vitesse de dissol. de quelques min, carbonatés dans les acides* (Ann. Soc. géol. belge, t. 18). — 1894. Hogbom. *Ueber Dolomitbildung und dolomitische Kalk Organismen.* — W. Pfaff. *Zur Erklärung über die Entstehung von Magnesit und Dolomit* (N. J. f. Min., t. 9). — 1894. Von Klement. *Ueber die Bildung des Dolomites* (Tscherm. Min. Mitth ; Bull. Soc. Belge, t. 8 et t. 9). — 1898. Vogt. *Der Marmor* (Z. f. pr. G., p. 10 à 13). — 1900. Vestorberg. *Ch. Stud. über Dolomit und Magnesit* (Bul. geol. Inst. Univ. Upsala.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

C'est très probablement aussi à une réaction du même genre qu'est due la dolomitisation des roches poreuses, dites cargneules, rauchwacke, briscale, etc.[1], de certains calcaires ayant pris la forme de récifs, et notamment des fameuses dolomites du Tyrol[2].

Nous serions également portés à interpréter d'une façon analogue bien des dolomitisations constatées sur des récifs coralliens, où la proportion de carbonate de magnésie arrive à 40 p. 100, et où certaines coquilles calcaires ont été transformées en dolomie presque pure[3]. Il est probable que, dans des circonstances semblables, la dolomitisation de surface est accélérée par le chlorure et le sulfate de magnésium associés. Dans tous ces cas, la production de dolomie, plus dense que la calcite pour un même volume total, donne une roche caverneuse, où les traces de stratification ont disparu.

Comme seconde hypothèse relative à la formation des dolomies, on a, dans le cas du Tyrol signalé plus haut, mis en avant l'influence des roches éruptives, telles que les mélaphyres, auxquelles aurait été due la dolomitisation des calcaires. Cette idée, qui a été autrefois admise, ne paraît pas conciliable avec l'ampleur du phénomène, et doit être réservée pour des actions de contact plus restreintes.

Enfin, dans bien des cas, il semble difficile de ne pas admettre un dépôt originel de sédiments dolomitiques, qui semble avoir été particulièrement fréquent dans les phénomènes de concentration lagunaire et qui s'accompagne alors d'anhydrite, ou sur la périphérie des récifs coralliens et dans certains dépôts littoraux.

Par exemple, en Norvège, on a des bancs de marbre dolomitique ayant jusqu'à 500 m. d'épaisseur sous la forme de dolomie presque théorique; et ce marbre dolomitique forme des bancs nettement intercalés entre des bancs de calcaire marbre, avec séparation précise. Dans ce cas, Vogt a admis un sédiment chimique, dont l'association avec des dépôts de sables devenus des quartzites et avec des schistes à minerais de fer, sans doute déposés sous la forme de carbonates de fer, ferait croire à une formation littorale.

On est arrivé à une hypothèse du même genre pour les dolomies superposées à quelque distance aux schistes cuprifères du Mansfeld, et qui ont été considérées là aussi comme marquant un cas de concentration (peut-être en réalité plus continental que marin).

[1] Voir plus haut, t. 1, page 334.

[2] On observe, dans le bassin de Paris, en Dalmatie, etc., des phénomènes de dolomitisation formant des sortes de lentilles englobant plusieurs bancs en profondeur et n'atteignant pas la surface. Ces lentilles, terminées par une partie plus dure jouant le rôle de salbande, semblent en discordance avec leur périphérie et paraissent résulter d'une action réalisée à une certaine profondeur.

[3] Certains sondages, exécutés autour d'îles coralliennes, ont donné, à 400 m. de profondeur, des calcaires durs cristallins dolomitisés, dont l'origine première paraît être une accumulation de coquilles, mais dont il y aurait lieu de discuter le mode exact de formation. — Voir : 1904. Judd. *The atoll of Funafuti* (Roy. Soc. of London); cf. Walther (Abh. d. sächs Ak., t. 14).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

GISEMENTS DE TALC ET DE STÉATITE[1]

Le talc est très généralement produit par une altération superficielle de schistes amphiboliques, de chloritoschistes, de roches à pyroxène, enstatite, etc., dont la magnésie se concentre dans les eaux. C'est une substance très fréquente, mais qui ne prend de valeur que lorsqu'elle est bien blanche et bien pure.

En *Styrie*, dans les Tauern de Rottenmann, près de Mautern, on exploite du talc sur les deux flancs d'un anticlinal au contact d'un calcaire précarbonifère et de chloritoschistes à graphite superposés par renversement[1]. Ce talc forme des sortes de lentilles, dues à une altération sur place des chloritoschistes et dans lesquelles se poursuit la schistosité de ceux-ci; les lentilles, d'abord grises à la périphérie, vont en se décolorant vers le centre, mais peuvent rester blanches sur 3 m. d'épaisseur. Cette formation du talc a dû être favorisée, le long des schistes imperméables, par une circulation d'eaux superficielles, qui s'étaient antérieurement chargées de magnésie dans les terrains voisins.

Des dépôts importants de talc ont été trouvés également en Styrie, à Floing.

Les talcs de l'*Ariège* forment aussi des lentilles dans des schistes enveloppés par le granite.

Les dépôts les plus importants sont près de Luzech, entre 1 500 et 1 800 m. d'altitude, au contact des schistes anciens et du granite. On peut y extraire des blocs de stéatite ayant plus de 2 m. de côté. Le talc de première qualité est en fragments tout à fait blancs et presque translucides. Le prix sur place est d'environ 30 fr. la tonnes et la production annuelle, dont un sixième est exporté aux Etats-Unis, dépasse 1 000 000 fr.

Dans le comté de *Saint-Lawrence*[2] (N. Y.), aux Etats-Unis, on observe, au milieu de terrains gneissiques, une épaisse zone de schistes à trémolite et à enstatite intercalés entre des bancs calcaires à stratification concordante. Ces schistes à trémolite semblent le produit d'un métamorphisme profond exercé sur certains lits plus magnésiens des mêmes bancs calcaires. Au milieu d'eux, le talc forme des lentilles interstratifiées de 0,50 m. à 8 m. d'épaisseur qui résultent d'une altération sur place et qui conservent, soit dans leur disposition extérieure, soit dans leur structure intime, les caractères des schistes qu'elles ont remplacés. La formation du talc est ainsi explicable par une circulation d'eaux chargées d'acide carbonique.

Aux *Indes*, les provinces centrales fournissent 800 t. de talc par an.

[1] Voir au tome 1, p. 396 et 397, une description avec coupe.

[2] 1897. C. H. Smyth *Talc du St Lawrence County, N. Y.* (School of mines quarterly, n° 4, t. 17. Résumé dans Z. f. pr. G., p. 29). — 1899. Nevius. *The talc industry of St-Lawrence County, N Y.* (N. Y. State museum, 9 p.; cf. Z. f. pr. G., p. 237). — 1900. Weinschenk. *Das Talkvorkommen bei Mautern in Steyermark* (Z. f. pr. G., p. 41). — 1903. L. De Launay. *Notes sur la théorie des gîtes minéraux* (Ann. d. M., janv., p. 39). — 1910, Rich. Vail. *Talc and Soapstone* (Min. industry for. 1909.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ÉCUME DE MER (MAGNÉSITE) D'ESKI-CHEIR[1]

Le gisement d'écume de mer d'Eski-cheir possède à peu près le monopole de l'exploitation de cette substance dans le monde, quoiqu'on cite également la présence de la même matière minérale en d'autres points, notamment près d'Angora en Galatie et de Tarsus en Cilicie. En raison de ce monopole, j'entrerai dans quelques détails sur cette petite industrie.

Géologiquement, il s'agit d'une sorte de brèche contenant de blocs de serpentine, et d'autres de magnésite, avec des parties calcaires. Les blocs utiles sont très irrégulièrement disséminés dans une couche qui peut avoir de 4 à 20 m., rarement jusqu'à 40 m. Son mur paraît être également une brèche serpentineuse. Au toit, on observe encore une brèche riche en serpentine, ou parfois des silicates très durs, mais sans écume de mer. Les mines principales se trouvent à environ 20 ou 30 km. Nord-Est d'Eski-cheir. Celles de Sary-sou et de Sepedji (Sepetchi ou Septeki) fournissent une production assez notable; celles de Kemikli et Ieni-Damar sont abandonnées. Les puits de Sary-sou avaient un moment, vers 1881, eu une grande prospérité; ils passaient pour presque épuisés vers 1895; on y a retrouvé de nouvelles zones productives depuis. Au Sud de la ville, à une quinzaine de kilomètres, une autre mine connue est celle de Karadjouk. La région, dans laquelle on a fait des travaux, est, très étendue.

Ces mines, connues depuis l'antiquité, appartiennent au Sultan, qui donne le droit d'exploiter sous la forme de concessions minuscules, où le travail se fait sans engins mécaniques, dans les conditions les plus primitives et les plus rudimentaires. On paye 100 fr. pour avoir la permission de foncer un puits, plus un impôt de 5 p. 100 sur le produit obtenu. Les puits ont de 10 à 60 m. de profondeur, avec des galeries étroites à plusieurs niveaux là où l'on rencontre des conditions favorables dans un terrain détritique essentiellement hétérogène. Au-dessous de 60 m., les venues d'eau trop abondantes arrêtent l'approfondissement.

La teneur du terrain est extrêmement variable. On estime qu'un bon puits rapporte une centaine de francs par semaine. Un mètre cube de terrain peut renfermer une douzaine de francs de matière utile. Le travail consiste à chercher les cailloux d'écume de mer, qui ont, en moyenne, la grosseur d'une pomme, et surtout à les débarrasser des matières talqueuses, serpentineuses ou terreuses, qui les englobent. Il y a là toute une manipulation assez compliquée, réglée par de vieilles habitudes. Il faut couper, scier, laver à l'eau chaude pour amollir, étendre sur des claies couvertes de coton pour faire sécher, etc. Après quoi, on frotte avec une sorte de velours rugueux fabriqué spécialement à cet effet en Bulgarie, on taille de nouveau et on polit en passant légèrement une flanelle enduite de cire. L'opération suivante est le classement qui se fait en 4 grosseurs et 11 qualités par grosseur. Puis on emballe soigneusement chaque morceau entouré de coton dans des caisses d'environ 0,08 m³,

[1] Coll. Ecole des mines. 1326 et 1327. — TCHIHATCHEFF, *loc. cit.*, t. 3, p. 400. — 1893. Notes inédites de M. LERICHE, ingénieur au service des mines d'Egypte. — 1901. WEISS. *Lagerst. im westlichen Anatolien* (Z. f. pr. G., p. 250). — *Asie*, p. 98 et 655. et bibl. p. 655.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dont la valeur moyenne est de 18 à 20 fr., que l'on expédie directement à Vienne, où se fait tout le commerce en gros de l'écume de mer.

On cote, par exemple, la caisse de la première grandeur, dite « Sira Mali », quand elle est en même temps de la première qualité (caisse tenant 30 à 40 morceaux), 600 fr.; la seconde qualité vaudra 500 et la douzième seulement 60 fr. Pour la seconde grandeur, dite « Birimbirlik », la première qualité vaut 500 fr.; la caisse renferme alors 65 à 90 morceaux.

NÉPHRITE[1]

La néphrite de Chine est une sorte de trémolite compacte, dont la composition est la même que celle de l'amiante. Elle forme des blocs dans des schistes à trémolite, qui, eux-mêmes, semblent résulter d'un métamorphisme exercé sur des terrains calcaires. Le gisement classique est dans les monts Kouen-lun, près de Khotan; mais il en existe aussi dans les monts Jablonov (Sibérie), au Mexique, à Jordansmühle (Silésie).

GLUCINIUM

Gl = 9,1.

Le glucinium, dont l'oxyde a été isolé en 1797 par Vauquelin, entre dans la composition de plusieurs minéraux, dont le principal est l'*émeraude* ($6\,SiO^2Al^2O^3, 3\,GlO$), avec ses variétés, l'une vert bleuâtre ou *aigue-marine*, l'autre incolore ou jaune, le *béryl*.

L'émeraude renferme 11 à 14,5 p. 100 de glucine. Il existe, en outre : un orthosilicate de glucinium, SiO^4Gl^2, la *phénacite*, qui tient 44,55 p. 100 de glucine; un aluminate Al^2O^3GlO, le *cymophane*, à 17 p. 100 de glucine; puis quelques silicates complexes, le *leucophane*, le *mélinophane*, l'*euclase*, la *bertrandite*, l'*helvine*, la *gadolinite* (7 à 11 p. 100 de glucine), etc., et deux fluophosphates qui associent, l'un le glucinium et le calcium (*herdérite*), l'autre le glucinium et l'aluminium (*hamlinite*).

En résumé, le glucinium est un élément intégrant de l'écorce terrestre, où il joue un rôle analogue à celui des métaux alcalino-terreux.

Les minéraux précédemment cités représentent une concentration généralement opérée sous l'influence des actions de profondeur granulitisantes, et peut-être, dans ce métamorphisme, y a-t-il eu apport de glucine, comme il a dû y avoir apport de soude et de lithine dans les formations de filons stannifères et aurifères. Mais on peut se demander, en outre, si le glucinium n'existe pas, beaucoup plus souvent qu'on ne le croit, disséminé à l'état de traces dans les terrains normaux : traces qui auraient subi localement une concentration, dont on retrouve l'indication pour d'autres corps, par exemple pour l'alumine, dans des réactions analogues.

Les gisements ordinaires de l'émeraude, décrits à l'occasion du silicium, se trouvent, ou dans des schistes, ou dans des calcaires influencés par le métamorphisme.

[1] 1902. *Néphrite de Jordansmühl* (Z. f. pr. G., p. 383). — *Asie*, p. 768 et bibl. L'étude du jade et de la néphrite a été donnée précédemment au tome I dans le chapitre du silicium.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

THORIUM ET TERRES RARES

THORIUM (Th = 232,4).
GROUPE CERIQUE — LANTHANE (La = 139). — CÉRIUM (Ce = 140,25). — NEODYME (Nd = 144,3). — SAMARIUM (Sa = 150,4).
GROUPE TERBIQUE — GADOLINIUM (Gd = 157,3). — TERBIUM (Tb = 159,2).
GROUPE YTTRIQUE — SCANDIUM (Sc = 44,1), — YTTRIUM (Y = 89). — ERBIUM (Er = 167,4). — YTTERBIUM (Yb = 172), etc.

Nous réunissons, dans un même paragraphe, tous ces métaux, dont les usages sont presque semblables, et les gisements analogues. Les différences qui existent entre eux se trouveront signalées dans le courant de la description.

Usages. — Il y a quelques années, les usages du thorium et des métaux connexes étant à peu près nuls, on croyait ces métaux extrêmement rares. Depuis le jour où Auer de Welsbach imagina de les appliquer à l'incandescence par le gaz, leurs minerais, ayant acquis de la valeur, sont arrivés sur le marché en abondance de plus en plus grande et, comme leurs applications, bien que très répandues, en consomment de faibles quantités, leur prix a pu s'abaisser peu à peu.

Le brevet d'Auer pour l'application de l'oxyde de thorium date du 4 novembre 1885 ; l'application pratique remonte surtout à 1894.

Le pouvoir éclairant du gaz, qui était de 133 bougies pour m^3 par heure avec un bec papillon, passe à 1 000 bougies avec un manchon à air comprimé imprégné de thorine. La consommation étant 7 fois plus faible, le prix de 20 bougies-heure tombe de 0,03 fr. à 0,004 fr. Ces chiffres expliquent le rapide succès de ce procédé nouveau. La luminescence du thorium, de l'yttrium, du cérium, etc., paraît en partie liée à leurs propriétés radioactives.

Dans l'application, la thorine très pure doit être additionnée de cérine pure dans la proportion de 1 à 1,5 pour 99 ou 98,5 de thorine, sans mélange de terres du didyme ou de phosphates. Le didyme est également un peu employé de son côté.

Cette industrie est à peu près monopolisée par l'Allemagne.

Récemment, le cérium a trouvé une nouvelle application sous la forme de briquets au ferro-cérium, qui semblent destinés à concurrencer vivement les allumettes. Il s'agissait de trouver un corps donnant, par le choc d'un morceau d'acier, une étincelle assez chaude pour allumer une mèche imprégnée de benzine ou d'alcool. Dès 1891, G. Chesneau avait montré que le choc de l'uranium donnait une étincelle capable d'enflammer un mélange gazeux inexplosible et avait proposé d'employer ce système pour l'allumage des lampes de mines. L'application a été faite avec le cérium. Mais, ce métal étant trop mou et trop léger, il fallait le combiner avec un autre corps. Auer a eu l'idée de la combinaison avec les métaux lourds, tandis que la fabrique Kunheim appliquait la combinaison avec les métaux légers et la société Lucium Werk la combi-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

naison avec les métalloïdes. Cette industrie s'est immédiatement développée en Allemagne et en Autriche.

Prix et commerce. — Avant 1880, les minéraux de thorium et de terres rares (orangite et thorite), uniquement recherchés pour l'usage scientifique, valaient à peu près 1 000 fr. le kg.

En 1895, le nitrate de thorium commercial montait à 2 250 fr. le kg. ; mais, à ce moment, on découvrit les monazites à l'état de sables riches et le nitrate de thorium tomba à 450 fr. en 1898, 37 fr. en 1903. Il est remonté à 57 en 1905 pour subir ensuite une baisse progressive : 40 fr. en 1907 ; 29 fr. en 1908 ; 22,50 fr. en 1910.

Statistique. — La presque totalité des monazites utilisées dans le monde est fournie par le Brésil qui a exporté : en 1903, 1 862 t. ; en 1904, 2 901 ; en 1905, 1 039 ; en 1906, 4 352 ; en 1907, 4 437 ; en 1909, 6 462 ; en 1910, 5 437. Les gisements sont dans les Etats de Rio de Janeiro et Minas Geraes et le long de la côte de Rio à Bahia. En 1908, les Etats-Unis en ont importé une trentaine de tonnes.

D'autre part, les Etats-Unis eux-mêmes en ont produit, en 1905, jusqu'à 608 t., pour descendre en 1908, par suite de la baisse de prix, à 190, dont 135 dans la Caroline et, en 1910, à 45 t. dont 36 t. dans la Caroline.

En dehors des alluvions du Brésil et des Etats-Unis, la production des autres pays est insignifiante. En 1891, la statistique suédoise mentionnait cependant l'extraction de 13,5 t. d'allanite (cérium).

Rôle géologique. — Géologiquement le thorium, métal tétratomique comme le zirconium, forme un oxyde très stable ThO^2, que l'on trouve généralement combiné à la silice (orangite), presque toujours avec association de cérium, lanthane, néodyme, yttrium, etc.

Les autres métaux, formant les « terres rares », que nous rassemblons ici, sont très nombreux. Nous en avons nommé quelques-uns ; il y en a beaucoup d'autres ; et, comme leur séparation chimique difficile rend leur connaissance encore incomplète, il est possible qu'il doive en disparaître quelques-uns, comme il en apparaîtra probablement d'autres. Chimiquement, on les rapproche tous de l'aluminium, du chrome et, à certains égards, du bismuth, bien que l'oxyde stable de cérium soit CeO^2, les autres oxydes étant de formule R^2O^3.

Physiquement, plusieurs d'entre eux ont des rapports avec le magnésium par leur inflammation facile. En métallogénie, nous allons les trouver, comme l'aluminium, en combinaison habituelle avec la silice, avec l'acide phosphorique, l'acide titanique, le fluor, etc., et, quoique leur rareté porte à leur attribuer une place spéciale, leurs oxydes doivent être considérés, au même titre que l'alumine ou l'oxyde de titane, comme des éléments de l'écorce silicatée, ayant rarement subi une concentration filonienne. Ils se différencient aussitôt du groupe de l'étain, avec lequel ils présentent des analogies de gisement, par le fait qu'on ne les trouve pas à l'état libre et du groupe du bismuth, dont nous venons de les rapprocher chimiquement, parce qu'ils ne sont pas partis en combinaisons sulfurées. Ce sont des métaux de l'écorce silicatée normale, et leur rareté relative

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tend seule à leur faire attribuer une place tout à fait distincte de celle de l'aluminium. Mais, dans cette écorce silicatée, leur concentration s'est faite à la faveur des réactions alcalines et des fumerolles chloro-fluorées qui caractérisent les granulites, pegmatites et quartz connexes, ou, dans un autre groupe, les syénites néphéliniques, phonolithes, etc., en sorte que leur zone de cristallisation principale se trouve dans l'auréole de ces deux groupes de roches, surtout auprès des syénites néphéliniques, dans des conditions qui tendent, par conséquent, à les rapprocher de l'étain, du tungstène, du bismuth, du molybdène, de l'uranium, etc., avec cette différence que l'abondance spéciale des terres rares paraît liée aux roches à feldspathoïdes, tandis que le groupe de l'étain s'associe de préférence au groupe des feldspaths.

Très voisins les uns des autres, ces métaux rares coexistent dans la plupart de leurs gisements, avec cependant une tendance à former quelques groupes principaux, tels que le *groupe cérique* : lanthane, cérium, néodyme, samarium; le *groupe terbique* : gadolinium, terbium; le *groupe yttrique* : scandium, yttrium, erbium, ytterbium, etc. Ils sont généralement accompagnés, en même temps, de glucinium, uranium, hélium, etc.

Minerais. — Parmi leurs minerais principaux, nous citerons surtout une série de silicates, tels que la *cérite*, *l'allanite* et *l'orthite*, où dominent les terres du groupe cérique; la *gadolinite*, qui contient, avec l'yttrium dominant, cérium, lanthane, glucinium et fer; puis un phosphate de cérium, lanthane et thorium, la *monazite*; un phosphate d'yttrium, le *xénotime*; la *samarskite*, qui est un tantalo-niobate renfermant 15 p. 100 d'oxydes rares, où dominent les terres du groupe de l'yttria; l'*œschynite*, fluoniobate à terres du groupe cérique; l'*euxénite*, hydro-titano-niobate à terres du groupe yttrique; l'*yttrocérite*, fluorure de calcium, cérium et yttrium; la *fergusonite*, nitrate complexe riche en cérium; la *mosandrite*, hydro-silico-titanate riche en terres du groupe cérique.

Pratiquement, les sables de monazites, qui sont le véritable minerai courant, ont, d'après Etard, les teneurs suivantes en thorine : Caroline 0,23-0,80; Villeneuve mica mine (Quebec) 1,10; Bahia (Brésil) 1,20; Connecticut 1,40; Minas Geraas (Brésil) 2,40; Rio Chico 4,80; Villa Bella 5,30; Goyaz 7,60. L'analyse de la monazite de Québec donne : 12,6 de ThO^2; 51.21 d'oxydes de cérium, lanthane, etc.; 4,76 de ZrO^2, Y^2O^2 et GlO; 26,8 d'acide phosphorique; 0,90 de silice; 1,60 de chaux et de magnésie. D'autres monazites renferment, en outre, des oxydes de tantale ou de titane.

Gisements. — Les plus anciens gisements connus de terres rares sont la Scandinavie : Bastnaes en Suède, d'où vient la cérite; Ytterby en Suède (gadolinite); Yttria, Hitteroë, Arendal, Brevig en Norvège; puis le Groenland (Farewell), où l'on a trouvé la fergusonite; Miask dans l'Oural. Plus récemment, on a organisé de véritables exploitations de monazite au Brésil, dans la Caroline du Nord, l'Idaho, le Texas, l'Australie, la Tasmanie.

L'extraction du cérium et de son groupe se fait généralement en partant de la monazite ou de la cérite, celle du groupe yttrique en partant de la gadolinite, du xénotime ou de la samarskite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Pratiquement, les monazites sont uniquement exploitées à l'état de sables alluvionnaires ; néanmoins, nous étudierons, à ce propos, quelques-uns de leurs gisements originels.

Brésil. — Au Brésil on a trouvé successivement une série de gisements alluvionnaires, où la monazite arrive à entrer pour 2 p. 100 du tonnage extrait. Ces dépôts sont : les uns à l'intérieur, le long de certains cours d'eau traversant des roches syénitiques et des gneiss, dans les États de Rio de Janeiro et Minas Geraes ; les autres le long de la côte.

Les alluvions de rivière forment des couches sableuses, tantôt superficielles, tantôt recouvertes par de l'argile, et la monazite s'y associe avec une série de minerais lourds, grenats, fer titané, etc. Au moyen d'un traitement électromagnétique on arrive à un concentré à 95-96 p. 100 de monazite, qui tient 3,7 p. 100 d'oxyde de thorium.

En 1908, la Sté minière Franco-Brésilienne a travaillé à Itabapoane, sur la frontière des États de Rio de Janeiro et Espirito Santo, dans des conditions de concessions insuffisamment définies qui ont amené la fermeture. On a également trouvé de nouveaux gisements sur le Rio Muriahé (Minas Geraes). La difficulté d'exploitation tient, d'une façon générale, aux frais de transport et à l'attitude du gouvernement.

Caroline. — Les gisements de la Caroline sont au S.-W. de la Caroline du Nord et au N.-W. de la Caroline du Sud, sur 30 à 40 km. de large et 240 km. de long entre le plateau de Piedmont et les Blue Ridge. Leur origine est à chercher dans des gneiss traversés par des pegmatites et des granites. Il s'est formé des sables ayant de 0,30 à 2.40 m. d'épaisseur, dans lesquels la monazite se trouve à la base par lentilles ayant parfois 100 m. de large et 800 m. de long suivant le cours d'eau. Naturellement la présence de la monazite est liée à celle des débris de quartz, pegmatite, etc., auxquels elle avait été originellement associée.

Oural. — Dans l'Oural, le groupe des monts Ilmen présente des filons de syénite néphélinique, où l'on trouve la monazite, l'æschynite, etc., avec du zircon. Des filons de microcline vert avec albite et quartz contiennent également, dans des géodes, la monazite, la samarskite, la columbite associées avec le quartz, l'amazonite, la topaze, le béryl, la cryolite.

Asie (Inde, Ceylan, Bangka). — On a signalé à Hosainpure (État de Palanpur, présidence de Bombay), de la gadolinite associée à de l'étain dans une pegmatite à tourmaline. A Ceylan, les alluvions de Kondurngala province de Sabaragamuwa, contiennent un peu de thorite, que l'on a essayé d'exploiter en 1905 [1].

La monazite existe également dans les alluvions stannifères de Bangka et Billiton.

[1] L. De Launay. *Asie*, p. 694 et 717.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

CHAPITRE XXXV

ALUMINIUM

Al = 27,1.

BAUXITE. RUBIS. SAPHIR. EMERI. ALUN. ALUNITE

USAGES DE L'ALUMINIUM ET DE SES COMPOSÉS

Usages de l'aluminium[1]. — L'aluminium métallique, malgré la grande diffusion de ses composés, a été, pendant très longtemps, un corps rare et n'est, à proprement parler, un métal industriel que depuis peu d'années.

C'est, en effet, que le procédé ordinaire de la métallurgie par réduction des oxydes au moyen du carbone, procédé qui s'applique si bien aux minerais de fer, échoue devant les argiles.

Découvert en 1827 par Wöhler, l'aluminium n'était connu qu'à l'état de poussière ou de globules très petits quand, en 1854, Sainte-Claire Deville arriva à l'obtenir en quantités notables par la réduction d'un chlorure double de sodium et d'aluminium au moyen du sodium. C'était un premier pas franchi. En 1855, la fabrication industrielle de l'aluminium commença à Javel, puis à Salindres, et aboutit, jusqu'en 1880, à une production annuelle de 2 400 kg. vendus alors de 120 à 150 fr. le kg. En 1885, un autre progrès fut accompli quand le chimiste américain Crowles trouva le moyen d'obtenir électrolytiquement du bronze d'aluminium. Puis vinrent les procédés Hall (1886), Héroult (1885-87), Kiliani, Bücherer, etc., maintenant décrits dans tous les ouvrages classiques[2]. Grâce à des perfectionnements successifs, le prix de vente du kilogramme d'aluminium est descendu progressivement de 1 300 fr. en 1855, à 75 fr. en 1888 (méthode Deville), à 60 fr. en 1889, 22 en 1890, 3,50 en 1900, 2 fr. en 1904. Un moment relevé par la formation d'un syndicat, le prix, à la fin de 1908, est tombé à 1,30 fr. après la rupture de cette association. En 1911, on trouve, au détail, de l'aluminium en lingots à moins de 5 fr. le kg.

Un changement aussi extraordinaire et unique dans les conditions du marché a correspondu à une rapide évolution industrielle, par suite de laquelle le métal nouveau, à mesure que sa production s'élevait et que son prix déclinait en conséquence, se trouvait apte à conquérir des champs d'application nouveaux.

[1] Voir sur les usages de l'aluminium. 1908. E. Blough. (Trans. Am. Elect. Soc., t. 12) et *The mineral Industry*, passim.

[2] 1909. Lodin, *Note sur la fabrication électrolytique de l'aluminium* (Ann. d. M. t. 16, 65 p). — 1910. J.-W. Richards. *The metall. and uses of aluminium in* 1909 (The Min. Ind. for. 1909).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ces applications sont, dès à présent, considérables puisque, comme nous allons le voir, la production mondiale d'aluminium dépasse maintenant 40 000 t. par an. Il est évident que les débouchés doivent s'étendre beaucoup encore; mais l'accroissement de l'extraction a été tel jusqu'ici d'année en année qu'il en résulte des phases de surproduction plus ou moins accentuées et de graves difficultés commerciales, auxquelles les producteurs d'aluminium se sont maintes fois heurtés.

L'aluminium industriel contient généralement un peu de fer, de silicium, de carbone, d'azote, de sodium, susceptibles, même en traces, de modifier ses propriétés. Les progrès métallurgiques ont cependant permis d'éliminer peu à peu ces impuretés pour livrer couramment de l'aluminium presque pur.

Les principaux usages de l'aluminium métallique sont fondés sur ses propriétés physiques et chimiques si remarquables.

Sa densité est très faible (2,56, c'est-à-dire à peu près celle de la porcelaine). Il est très malléable; car on peut le réduire, par le battage, en feuilles extrêmement minces comme l'or et l'argent, susceptibles de remplacer le papier d'étain. Il est ductile, tenace et absolument inaltérable à l'air. Par contre, un de ses inconvénients est de fondre à 650° (contre 945° pour l'argent, 1054° pour le cuivre, 1 300° à 1 400° pour l'acier) et, par suite, de ne pas garder assez de ténacité à une certaine température : ce qui empêcherait d'en faire des machines à vapeur.

Son usage se trouve tout indiqué lorsqu'on a besoin à la fois de légèreté, d'inoxydabilité et d'une certaine élégance; c'est ainsi que la lunetterie et les instruments d'optique en consomment une assez grande quantité. Depuis que l'on est arrivé à produire économiquement l'aluminium suffisamment pur à 980 millièmes, on en fait également des ustensiles domestiques et militaires, des instruments de chirurgie, des tubes, fils, plaques, conducteurs électriques, etc.

L'industrie de l'automobile et du cyclisme est devenue, depuis quelques années, un gros consommateur, auquel commence à se joindre celle des dirigeables et des aéroplanes.

On essaye également d'en faire des plaques lithographiques pour remplacer le zinc ou la pierre.

Dans l'industrie électrique, on a réussi, après quelques déboires, à employer les conducteurs d'aluminium pour les transmissions à haute et basse tension et les enthousiastes de l'aluminium attendent de cette application nouvelle des résultats importants.

Finalement, en tenant compte des dépenses d'installation et des frais accessoires, on a pu espérer que la substitution de l'aluminium au cuivre représenterait une économie de 30 à 50 p. 100 (selon le voltage et le nombre de lignes à établir) dans les frais d'installation [1].

[1] Voici comment on établit le calcul : Un des principaux avantages de l'aluminium sur le cuivre est, comme l'on sait, son extrême légèreté. Ainsi le poids spécifique de l'aluminium est de 2,65, tandis que celui du cuivre est de 8,93. Il en résulte que, si l'on transforme en fils conducteurs une masse de chacun de ces métaux représentant une valeur identique, soit 2 500 francs par exemple, on aura un fil d'aluminium de 6,28 km. et un fil de cuivre de 1,86 km. seulement. Il est vrai, par contre, que, pour obtenir avec l'aluminium la même conductibilité qu'avec le cuivre, il est nécessaire

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Beaucoup de pièces électriques et d'instruments de physique sont maintenant faits en aluminium. L'industrie chimique se sert déjà de tuyaux d'aluminium pour transporter ou concentrer des liqueurs acides, pour condenser les vapeurs ammoniacales des fours à coke, pour fabriquer des appareils de stérilisation ou de pasteurisation. Enfin, à diverses reprises, il a été question de frabriquer en aluminium les monnaies divisionnaires française à la place du cuivre et du nickel.

Pour beaucoup d'applications, on remplace l'aluminium par ses alliages. Les *bronzes d'aluminium* ont été les premiers obtenus directement par la méthode de Cowles dès 1885, et ont pris la place des bronzes phosphoreux pour la fabrication de tuyaux, coussinets, instruments de physique, etc... L'inaltérabilité du bronze d'aluminium l'a fait adopter pour des tamis fins comme ceux qui servent dans les fabriques de papier et dans le traitement des scories Thomas, ou encore pour les cylindres destinés à l'impression des tissus. Sa densité l'a fait substituer à l'acier (qui donne des étincelles) dans tout le travail de la poudre. Les alliages ordinairement employés tiennent 5 à 10 p. 100 d'aluminium. Quand on force la proportion d'aluminium, l'alliage devient blanc et cassant ; on obtient une couleur d'or rouge à 3 p. 100 d'aluminium, d'or fin à 5 p. 100. A 15 p. 100, la couleur est blanche, blanc bleuâtre à 20 p. 100.

Le laiton d'aluminium est formé par le bronze d'aluminium avec 33 p. 100 de zinc.

On obtient également de bons résultats en ajoutant au bronze d'aluminium un peu de manganèse. Le *magnalium*, employé pour la tréfilerie, les instruments d'optique, etc., tient de 6 à 25 p. 100 de magnésium allié à l'aluminium. Le *partinium* est un alliage d'aluminium et de tungstène très résistant. D'autres alliages d'aluminium avec l'étain, le zinc, etc., ont été étudiés [1].

Une autre branche importante d'applications vient de ce que l'aluminium est, en métallurgie, un purificateur du fer et du cuivre.

Dans la coulée de l'acier, il empêche les soufflures. Ajouté à la fonte, il lui donne un grain bien plus serré, agissant alors comme le silicium.

L'aluminothermie est une méthode métallurgique nouvelle, qui emploie l'aluminium pour réduire certains oxydes métalliques et produire le chrome ou le cuivre-chrome, le manganèse, le ferro-titane, le ferro-bore (Goldschmidt, 1898). La température résultant de la combustion de ce

d'employer un fil plus épais. Ainsi un fil de cuivre de 1 centimètre carré de section, aura la même conductibilité qu'un fil d'aluminium de 1,64 cm² de section. Mais, néanmoins, étant donnée une même dépense initiale de 2 500 francs, un fil d'aluminium de 1,64 cm² de section aura une longueur de 3,82 km., tandis qu'un fil de cuivre de 1 centimètre carré de section n'aura que 1,86 km. A dépense égale et à conductibilité égale on pourra donc transmettre l'énergie électrique à une distance représentée pour l'aluminium par 205 contre 100 pour le cuivre. En d'autres termes, on aura réalisé une économie de 49 p. 100.

D'autre part, avec le fil en aluminium en question, on pourra transmettre, à une température de 20 degrés centigrades, un courant de 203 ampères au lieu d'un courant de 184 ampères avec le fil de cuivre.

Enfin, au point de vue de l'échauffement — question importante dans les usines — le fil d'aluminium présente également un avantage marqué sur le cuivre.

[1] 1908. G. C. Gwyer. (Z. f. An. Chem., p. 113).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

métal se réduisant en oxyde (7140 calories), supérieure par conséquent à celle de tous les autres corps sauf le carbone et l'hydrogène, suffit pour fondre le chrome.

En dehors de l'aluminium métallique, il existe de nombreux composés de ce métal utilisés. Nous allons avoir à mentionner l'alumine cristallisée à l'état de corindon, saphir, émeri, rubis, le sulfate d'aluminium, les aluns. Nous nous contenterons de rappeler, en outre, toute la série des silicates d'aluminium déjà étudiés à l'occasion du silicium, les argiles, kaolins, schistes, ardoises; les phosphates d'aluminium naturels comme la turquoise et l'amblygonite ; le fluorure ou cryolite (voir au phosphore et au fluor).

Alumine. — L'industrie produit de grandes quantités d'alumine pure comme intermédiaire entre la bauxite et l'aluminium métallique (désagrégation au rouge par le carbonate de sodium, reprise par l'eau de l'aluminate sodique et précipitation par l'acide carbonique). Cristallisée à l'état anhydre (Al^2O^3 à 53, 5 d'aluminium), l'alumine forme les gemmes connues sous le nom de *corindon*, *rubis*, *saphir*, *topaze orientale* et *améthyste orientale*, ou, avec mélange d'oxyde de fer, l'*émeri* utilisé comme abrasant. Hydratée, l'alumine naturelle donne le *diaspore*, la *bauxite* et la *gibbsite*.

Sulfate d'aluminium. — Ce sulfate, hydraté à 18 équivalents d'eau, est employé en assez grande quantité en teinture et dans la fabrication des papiers blancs, où on l'a substitué à l'alun. On exige, comme condition essentielle, que la teneur en fer soit au-dessous de 0,01 p. 100. L'industrie le retire de l'alunite, du kaolin, de la bauxite et de la cryolite.

Aluns. — Les aluns, ou sulfates doubles d'aluminium et de métaux alcalins, $K^2SO^4,'Al^2(SO^4)^3, 24H^2O$, forment, on le sait, un groupe complexe, dans lequel on peut remplacer : l'aluminium par le fer, le chrome, le manganèse ; le potassium par le sodium, le lithium, l'ammonium, le rubidium, le thallium, le cœsium; l'acide sulfurique par l'acide sélénique. Leurs usages sont nombreux. On emploie surtout, depuis longtemps, l'alun potassique et aujourd'hui l'alun sodique en teinture et en mégisserie ; puis pour la préparation des couleurs de laques, pour la clarification des eaux boueuses, pour ignifuger le bois et la toile. La thérapeutique utilise leurs propriétés astringentes et antiseptiques.

Sulfite d'aluminium. — Le sulfite est employé, en raison de son extrême solubilité et de la facilité avec laquelle il dégage son acide sulfureux, dans la fabrication du sucre par défécation des jus de betterave. Le sulfite agit là, à la fois par l'acide sulfureux qui préserve le jus de la fermentation et par l'alumine qui précipite les matières albuminoïdes [2].

[1] 1893. Buisine (Bull. Soc. Chim., p. 311).

[2] Au détail, à Paris, le sulfate d'aluminium ordinaire vaut 0,40 fr. le kg; le bisulfite, 1,25 fr.; l'alun calciné 0.90 fr.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

STATISTIQUE DE L'ALUMINIUM

Minerais industriels de l'aluminium. — Nous allons bientôt insister sur la grande diffusion de l'aluminium dans la nature. Industriellement, on fabrique la plus grande partie de l'aluminium en partant de la bauxite ou de l'alumine artificielle plus pure : le bain pouvant être amorcé et rendu fluide par de la cryolite. La cryolite seule, outre son prix élevé, aurait le défaut de faire passer un peu de sodium dans l'aluminium. Pour obtenir l'alumine, on part également d'ordinaire de la bauxite, parfois aussi des argiles et kaolins. La bauxite sert aussi à faire des briques réfractaires.

Pour les aluns, on emploie des minerais très nombreux : l'alunite de la campagne romaine à la condition qu'elle soit absolument exempte de fer ; les schistes alumineux et les terres alumineuses chargées de pyrites, qui ont l'inconvénient de donner des aluns acides ; les aluns naturels ; accessoirement, les argiles ou kaolins (traitement à l'acide sulfurique bouillant et addition de sulfate de potassium) ; les bauxites, traitées en solution chlorhydrique par la kiesérite ; les feldspaths ; les leucites ; les scories de hauts fourneaux ; les phosphates naturels. Avec le sulfate de potassium de Stassfurt extrait de la kaïnite on obtient aujourd'hui d'excellents aluns.

Statistique. — Si l'on remonte seulement à 1897, la production totale de l'aluminium dans le monde n'atteignait pas 3 200 t., dont 1 815 aux États-Unis, 470 en France, 310 en Grande-Bretagne, le reste en Suisse, Allemagne et Autriche. Dix ans après, en 1907, on arrivait à 32 500 t. dont moitié dans l'Amérique du Nord (16 329 t.), 4 700 en France, 3 700 en Grande-Bretagne.

En cette année 1907, la production d'aluminium étant insuffisante a alimenter le marché, les prix étaient très élevées : 3,75 fr. le kg avant le 1er octobre ; 2,50 fr. ensuite. La crise américaine de 1908 détermina, dans la production nord-américaine, une chute de moitié, parallèlement avec un ralentissement encore plus considérable de la consommation, en sorte que les prix baissèrent en Amérique de 3,90 le kg. à 2,40 fr. En 1909, on a oscillé autour de 2,40 fr. En 1910, l'aluminium à 99 p. 100 en lingots vaut 2 fr. à Paris.

Avec un métal dont la source minérale est pratiquement inépuisable, l'extraction annuelle dépend uniquement du prix de vente possible, déterminé par la demande plus ou moins considérable, et des ressources en forces hydrauliques qui permettent d'organiser le traitement d'une façon économique. C'est ce dernier point de vue qui détermine la position des usines à aluminium.

Aux *Etats-Unis*, où les prix sont toujours sensiblement supérieurs à ceux de l'Europe, le marché est réglé par l'Aluminium Cy. Cette compagnie tire ses minerais de la Géorgie, de l'Alabama, du Tennessee et de l'Arkansas et doit leur faire subir un transport d'environ 2 000 km. jusqu'à ses usines. Elle a construit un chemin de fer nommé « Bauxite and Northern » pour relier ses mines avec Chicago, etc. Les principaux points de traitement sont les chutes du Niagara (5 500 chevaux), Société Pittsburg Reduction et New Kensington.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La *France* est très favorisée pour cette industrie puisqu'elle dispose, dans les Alpes ou les Pyrénées, de ressources considérables en houille blanche et qu'elle possède, d'autre part, à 200 ou 300 km. au plus des usines alpestres, dans ses bauxites du midi, les meilleurs minerais d'aluminium, les plus riches et les plus purs. Il se passe néanmoins, pour ces minerais, ce fait paradoxal qu'une partie des bauxites françaises passent par l'Allemagne pour se transformer en alumine et reviennent alors subir le traitement électrolytique en France.

La France a produit : en 1907, 158327 t. de bauxite à 10,50 fr. (sur la carrière), dont elle a exporté plus de 110 000 t. ; en 1909, 130 149 t. à 10 fr. Cette production vient presque totalement du Var (130 000 t. en 1907) ; accessoirement de l'Hérault (13 000 t.), des Bouches-du-Rhône (11 315 t.) et de l'Ariège (3 950 t.).

Parmi les usines françaises, on peut citer Froges et Péchiney, dont la première a aménagé une chute de 40 000 HP sur la Durance, à Largentière, tandis que la seconde possède l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne. Cette dernière usine doit devenir énorme et est estimée devoir fournir seule près de 4 000 t. d'aluminium par an. Les fabriques d'alumine de Gardanne et de Salindres, l'usine de Prémont à la Societé d'Electrochimie sont également en voie d'accroissement. La Société des Forces motrices de l'Arve a commencé la fabrication de l'aluminium à Chedde. Une usine, construite à Auzat près Vicdessos (Hautes-Pyrénées), fabrique de l'aluminium avec les bauxites de Bédarieux.

Dans l'*Europe centrale*, la fabrication de l'aluminium est concentrée par l'Aluminium Industrie A. G., qui possède les usines de Neuhausen (Suisse), Rheinfelden (Allemagne) et Lend (Autriche). Cette société a construit une grande usine à Chippis dans le Valais pour utiliser deux chutes de 18 000 HP et 20 000 HP. En *Angleterre*, la British Aluminium Company a construit une fabrique à Loch Leven en Ecosse et a acquis une force hydraulique à Stangfjord en Norvège, pour introduire en Norvège la fabrication de l'aluminium. L'Alum. comp. de Newcastle on Tyne en a organisé une à Dolgorrog, près Conway (Northwales). A côté de cette ancienne société, il s'en est fondé plus récemment deux autres en Angleterre ; l'Anglo-Norvegian Aluminium compagny et l'Aluminium corporation, cette dernière pour travailler dans le pays de Galles. En *Italie* une usine s'est créée à Bussi près Rome.

Nous donnerons la production des minerais à base d'aluminium après avoir décrit les gisements de chacun d'eux.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ALUMINIUM

L'aluminium joue un rôle essentiel dans la constitution de toute l'écorce terrestre, dont il forme à lui seul 8,10 p. 100 (15,40 p. 100 d'alumine). Il est l'élément caractéristique des feldspaths et, par suite, de leurs produits d'altération, les zéolithes, ou, à un degré plus avancé, les kaolins et argiles, en sorte que le silicate d'aluminium est un produit absolument universel. On retrouve l'aluminium dans les micas, chlorites, grenats, augites, diallages, hornblendes, tourmalines, topazes, émeraudes, etc.

La plupart des silicates ordinaires des roches en renferment une cer-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

taine quantité : aussi bien les éléments blancs, comme l'orthose (17 à 20 d'alumine), l'albite (19,5 p. 100), l'oligoclase (22 à 24), le labrador (29,50), l'anorthite (35 à 37), la muscovite (36,5 p. 100), etc., que les éléments ferro-magnésiens, comme la hornblende, où il entre jusqu'à 14 p. 100 d'alumine, l'augite (8 p. 100), l'enstatite (jusqu'à 2,5 p. 100), le diallage (jusqu'à 5,5 p. 100) et le péridot même qui en contient des traces.

Cependant, si l'on envisage les roches cristallines, l'isolement de l'alumine en quantités un peu importantes, ou même sa combinaison avec d'autres éléments que la silice, y a été rarement opéré. D'ordinaire, cette alumine a toujours trouvé assez de silice pour se combiner à elle, sauf dans quelques cas sur lesquels nous allons revenir; et c'est surtout par la voie du métamorphisme igné ou de l'altération superficielle que l'alumine est sortie, en quantités un peu notables, de ses combinaisons silicatées pour donner, soit de l'alumine pure, soit de l'alumine associée au peroxyde de fer, soit des sulfates d'alumine complexes, soit du phosphate.

Dans les roches acides, telles que les pegmatites et granites à mica blanc, on peut citer, comme combinaisons particulièrement alumineuses : avec de la silice, du bore et des bases diverses, la tourmaline à 31-34 p. 100 d'alumine; avec de la silice et du fluor, la topaze à 54-58 p. 100; avec de la magnésie, le spinelle à 55-60 p. 100; enfin, à l'état pur, les corindons, rubis et saphirs. La cryolite représente une combinaison fluorée, la wavellite et l'amblygonite des phosphates.

Dans les roches basiques, la ségrégation de l'alumine, assez rare, a cependant été réalisée en passant probablement par l'aluminate de magnésie. A partir de certains gabbros labradoriques, on voit, en Norvège et aux États-Unis, s'isoler des titano-magnétites; en même temps, la proportion de l'alumine diminue moins vite que celle de la silice, en sorte qu'il cristallise des spinelles. A Rockingham (Caroline du Nord), il a cristallisé, dans ces conditions, sur le bord d'un massif de péridotite, du corindon avec spinelle et enstatite. Dans les Cortlandt Series (Cté de Westchester, New-York), au milieu d'un district de norites, il s'est opéré de même des ségrégations ferrugineuses remarquables par leur forte teneur en alumine : des magnéto-corundites, avec spinelle, corindon, sillimanite, accompagnées de magnésie assez abondante.

Comme réactions de métamorphisme igné, on peut citer la présence assez fréquente du corindon, de l'émeri ou du spinelle cristallisé, de la cymophane, etc., dans les auréoles produites par le contact de roches éruptives avec des calcaires. La chaux a dû s'emparer de la silice en laissant à l'état de liberté l'alumine, accompagnée ou non de magnésie (spinelle), d'oxyde de fer (émeri), de glucine (cymophane, ou émeraude).

Enfin, dans les altérations superficielles, il a pu se produire également de l'alumine libre, accompagnée de plus ou moins d'oxyde de fer : d'où le groupe des bauxites passant aux minerais de fer alumineux. Si les réactions se sont produites en présence de pyrites donnant de l'acide sulfurique, il s'est, suivant les cas, développé, ou de l'alun, ou, plus rarement, de l'alunite.

Nous avons précédemment étudié, à l'occasion du silicium, les combinaisons silicatées de l'alumine. Il nous reste à envisager les oxydes et sulfates.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

BAUXITE

La bauxite est une alumine hydratée $Al^2O^3(H^2O)^2$, où le fer peut remplacer l'aluminium comme élément isomorphe et qui contient, en moyenne : 40 à 80 p. 100 d'alumine, avec 0 à 20 d'oxyde de fer et 10 à 15 p. 100 d'eau. Elle renferme généralement un peu de silice associée, mais non combinée : ce qui établit une distinction théorique fondamentale entre le groupe des kaolins et celui des bauxites. Il paraît, d'ailleurs, y avoir de nombreux mélanges, qui forment une sorte de série continue, dans laquelle l'alumine libre peut entrer en proportions très diverses : série aboutissant à des minerais de fer en passant par des bauxites avec pisolithes ferrugineuses et des minérais alumineux. La valeur de la bauxite varie beaucoup suivant sa teneur en alumine et ses impuretés. Tandis qu'on paiera 0,35 fr. l'unité pour des bauxites à 50 p. 100 (soit 17,50 fr. la tonne), on montera à 0,40 fr. pour 60 p. 100 [1].

Etant donnée la valeur relativement faible de ces minerais, leur position géographique et leurs facilités d'exploitation entrent également beaucoup en ligne de compte. Sur tous ces points, les bauxites du Sud de la France ont une suprématie mondiale. Celles des Etats-Unis sont beaucoup moins pures et grevées de frais de transport considérables.

La zone d'extension des bauxites françaises, que nous allons seules étudier en détail dans un paragraphe suivant, va depuis le Var, où est leur centre d'extraction principal, jusque dans l'Hérault (Saint-Chinian, Villeveyrac, etc.), en passant par le gisement classique des Baux de Provence dans les Bouches-du-Rhône, qui a donné son nom au minerai. On retrouve celui-ci exploitable dans l'Ariège.

On signale d'autre part de la bauxite : aux environs de Mende, dans la Lozère; dans l'Ariège, à Péreilhes, entre le corallien et l'urgonien. Dans le Cantal, il existe une couche de bauxite avec argile rouge et souvent lit de cailloux roulés reposant sur le gneiss et recouverte en partie par les basaltes (Madriat, Boudes, Saint-Hérent et Augnat). Hors de France, on en a exploité en Irlande, aux environs de Belfast; en Italie, depuis 1900, dans l'Apennin Central; dans le Karst et le Wochein, en Autriche, etc. Enfin, aux Etats-Unis, des gisements importants sont utilisés, depuis 1892, dans la Géorgie, l'Alabama, le Tennessee, l'Arkansas. Dans l'Inde, les bauxites paraissent avoir un grand développement en rapport avec les phénomènes de latérites.

Toutes ces bauxites, sur l'origine desquelles on a beaucoup discuté autrefois, nous apparaissent comme des produits d'altération continentale, analogues aux phosphorites, minerais de fer en grains, etc., remontant à une époque déjà ancienne (en France, la fin du crétacé) et ayant été recouverts, et protégés par des sédiments ultérieurs. Cette altération a dû se produire là dans des circonstances spéciales, en rapport possible avec un climat tropical, qui auront amené la silice et l'alumine des argiles d'abord formées à occuper des gisements distincts. On sait, en effet, que la silice, contrairement à certaines théories chimiques fondées sur l'em-

[1] Au détail, la bauxite se vend à Paris 1 fr. le kg (1911).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ploi de l'eau distillée, se dissout aisément en présence de l'acide carbonique et des alcalis toujours existants dans les eaux superficielles, ou du moins passe à l'état de colloïde. C'est ainsi qu'elle arrive à se concentrer sous la forme de rognons, chailles, meulières, etc. Pendant ce temps, le résidu d'une telle altération donne une proportion croissante d'alumine libre. Nous allons revenir sur cette discussion à propos des bauxites françaises. Mais il importe de remarquer aussitôt que la bauxite peut exister sur des terrains de nature très diverse, aussi bien sur des gneiss en Auvergne que sur des calcaires dans le midi, et, quoiqu'on ne puisse être affirmatif à cet égard, elle paraît également avoir pu se produire aux dépens de roches et terrains divers, absolument comme ces roches et terrains, dans d'autres conditions, auraient pu donner de l'argile.

Les latérites des régions tropicales sont parfois de véritables bauxites. Celle des Seychelles tient 50 d'alumine, 20 d'oxyde de fer, 26 d'eau et seulement 4 de silice[1].

D'assez nombreuses bauxites ont été signalées dans l'Inde Centrale, comme produits d'altération. Leur teneur en alumine peut atteindre 65 p. 100 et l'on y constate parfois jusqu'à 12 p. 100 d'acide titanique[2].

Par contre, on a signalé la bauxite dans des apports de sources thermales contemporaines. Elle se forme, en même temps que la geysérite et le carbonate de chaux, dans les régions de geysers du Yellowstone-park américain. Il est possible que ce second mode de formation soit également parfois intervenu dans la formation des bauxites anciennes.

Bauxites de Provence[3]. — Ces bauxites avaient été signalées, dès 1821, aux Baux de Provence, par Berthier. Collot paraît en avoir précisé l'âge, postérieur au calcaire à réquienies de l'aptien inférieur, antérieur au cénomanien, dans une phase marquée par une lacune de la sédimentation.

Ainsi, les bauxites, exploitées entre les Baux et Mont-Pavon, forment un banc nettement interstratifié entre l'aptien (calcaires d'Orgon) (34) et

[1] Inversement on sait que, dans les argiles rouges des grandes profondeurs marines, le rapport de la silice à l'alumine arrive jusqu'à 33 sur 12, contre 14 sur 12 dans les argiles ordinaires. — 1895. Harrison and Jukes Brown. *Notes on the chem. Comp. of some Ocean Dép.* (Q. J. G. S., t. 51, p. 313-328).

[2] L. De Launay. *Rich. Min. de l'Asie*, p. 704.

[3] Coll. Ec. d M., Les Baux (B.-du-Rhône) (1222) ; le Morre (Hérault) (1243) ; Villeveyrac (Hérault) (1224) ; Brignoles (Var) (2249) ; Châteaudouble (Var) (2430) ; Bédarieux (Hérault) (2455) ; Allecrause (Var) (2898) ; Le Thoronet (Var) (2899). — 1863. Virlet d'Aoust. *Sur le minerai de fer alumineux de Mouriez* (dit aussi des Baux) (B. S. G. F., 2e, t. 26, p. 618). — 1869 Daubrée. *Sur les gisements de bauxite dans l'Hérault et l'Ariège* (B. S. G. F., 2e, t. 26, p. 915). — 1872. Collot. *Sur la bauxite de St-Chinian* (Héralt). (B. S. G. F., 3e, t. 3). — 1880. Collot. *Sur la bauxite d'Ollières* (Descr. géol. des environs d'Aix en Provence). — 1881. Dieulafait. *Sur la bauxite de Provence* (C. R., 14 nov.). — 1885. Roule. *Sur le terrain lacustre ancien de Provence* (Ann. Sc. geol. et C. R., 7 fév. 1887). — 1887. Collot. *Age des bauxites du S. E. de la France* (B. S. G. F., 3e, t. 15, p. 331). — 1887. Daubrée. *Eaux souterraines anciennes*, p. 96. — 1887. Augé. *Note sur la bauxite* (B. S. G. F., 3e, t. 16, p. 345). — 1888, Paul Gounet et Achille Gabriel. *La bauxite de Garbaban* (C. R., t. 106, p. 1551). — 1888. St. Meunier. (B. S. G. F., 3e, t. 17, p. 61). — 1893. Petersen. *Ueber Bauxil Bildung* (Ber. der 26 Vers. des Oberrh. geol. Ver.). — 1893. Roussel. *Etude strat. sur les Pyrénées* (Bul. Carte geol., 35, p. 145. —1894. Laur. *Les bauxites* (B. S. I. M., p. 513-526). — 1895. A. Liebrich. *Ueber die Bildung von Bauxit* (Z. f. pr. G., p. 212-215 et p. 275). — 1897. Roman. *Rech. sur le Bas-Languedoc.* — 1898. Fiebelkorn. *Der Bauxit* (B. u. H. Z., p. 63-66).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le calcaire gris à cyclophores, aturien (39): banc rose, quelquefois blanc, de 6 m. d'épaisseur.

Pratiquement, cette bauxite diffère des argiles en ce qu'elle ne se délaye pas dans l'eau et n'y forme pas une pâte liante. Elle a toujours une tendance à la structure pisolithique, qui est si caractéristique dans les minerais de fer en grains, formés selon nous dans des conditions analogues; mais cette tendance est d'autant moins forte que la bauxite est d'une couleur plus claire et moins chargée de fer. Au Sud des Baux, certaines variétés sont formées de grains pisiformes composés de 60 p. 100 d'oxyde de fer et 30 p. 100 d'alumine et noyés dans un calcaire parfaitement spathique incolore.

On y a signalé la présence de 2 à 4 p. 100 d'acide titanique non individualisé à l'état de rutile et montrant une concentration du titane un peu supérieure à celle qui est courante dans les schistes. Il s'y trouve, en même temps, un peu de corindon et d'apatite microscopiques, des traces de vanadium et de phosphore. En voici trois analyses distinctes :

TABLEAU 13. — ANALYSES DES BAUXITES

Alumine	78,10	69,30	43,20
Sesquioxyde de fer	1,02	22,90	7,25
Silice et acide titanique	5,78	0,30 / 4,40	34,40
Eau	15,10	14,10	15,15

C'est un fait remarquable, dans ces analyses, que la faible proportion de silice descendant parfois au-dessous de 4 p. 100 : ce qui correspond à la distinction, annoncée plus haut, avec les argiles. L'absence de mica a été invoquée, sans grande raison, comme contraire à l'idée d'une décomposition de roches cristallines. Augé a signalé la présence, dans des druses, au milieu de la bauxite rouge, de bauxite d'un blanc de neige exclusivement formée d'alumine hydratée, qui constitue un minéral encore plus spécial. La répartition des couleurs rouges et blanches correspond à celle que l'on retrouve dans les calamines par l'effet d'altérations superficielles analogues. Le fer des bauxites blanches s'est isolé en veines ou noyaux distincts.

Nous avons dit, plus haut, que la bauxite formait en Provence une couche d'âge bien déterminé, aptien ou albien (34 ou 35). Le fait a été mis en évidence par Collot, qui l'a montrée s'étendant transgressivement sur les divers étages de l'infralias (24) au barrémien (33) et recouverte de même par ceux qui vont du cénomanien (36) au danien d'eau douce (40). C'est ainsi que, de l'Ouest à l'Est, on la rencontre successivement aux points suivants [1] :

A *Saint-Chinian* (Hérault), elle repose sur l'infralias (24) et est recouverte par des formations d'eau douce rapportées au danien (40).

A *Villeveyrac* (Hérault), près de Montpellier, elle couvre des calcaires hauteriviens (32), dans les anfractuosités desquels elle pénètre et est surmontée par les couches à physes de la Bégude (situées au-dessus du

[1] Voir COLLOT. (B. S. G. F., 1887, p. 345).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lignite de Fuveau) : aturien (39). On peut la suivre là, paraît-il, sur plus de 30 km de long.

Aux *Baux* même, elle est entre l'aptien (34) et des couches du même âge qu'à Villeveyrac (39).

A *Orgon*, elle paraît correspondre aux minerais de fer et argiles ocreuses du bassin d'Apt.

A *Allauch*, elle est exploitée par galeries entre l'aptien (34) et l'emschérien (38).

Enfin, au *Revest*, l'intervalle se resserre; car on la trouve entre l'aptien (34) et le cénomanien (36).

L'existence, dans les terrains superposés à la bauxite, de galets de bauxite rencontrés par Collot, prouve bien que la bauxite est de l'âge ainsi déterminé (fin de l'infra-crétacé) et non le résultat d'une intrusion postérieure. Il est, d'autre part, remarquable que, partout où on la trouve, on constate, en même temps, une lacune dans la sédimentation. Marcel Bertrand a fait, il est vrai, remarquer que cette lacune pouvait corres-

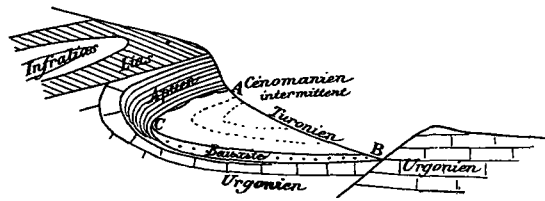


Fig. 177. — Coupe théorique montrant la disposition de la bauxite aux environs de Toulon, d'après M. Bertrand.

pondre parfois à un phénomène de laminage mécanique, comme le montrent, en A, sur la coupe ci-jointe (fig. 177), la survivance de quelques blocs intermittents représentant la place du cénomanien. Son interprétation, qui n'explique pas l'absence de l'aptien supérieur et l'albien, ne nous paraît pas pouvoir prévaloir contre tout un ensemble de faits recueillis dans le monde entier : faits concourants pour montrer la bauxite en rapport avec des émersions continentales. On peut seulement remarquer que, dans la formation de la bauxite comme dans celle des phosphorites et minerais de fer en grains, avec lesquels nous la comparons, la présence de l'acide carbonique abondant, quelle que soit d'ailleurs son origine, paraît être intervenue.

Industriellement, on divise les bauxites françaises en trois catégories : 1° minerais à 60 p. 100 d'alumine, avec moins de 4 p. 100 de fer et seulement des traces de silice, utilisés par les usines chimiques; 2° bauxites rouges à 60 p. 100 d'alumine et 3 de silice pour les fabriques d'aluminium; 3° bauxites blanches à 45 p. 100 d'alumine, traces de fer et beaucoup de silice, pour produits réfractaires. Les réserves en minerais à 60-65 sont importantes et celles en minerais à 45-47 considérables.

Bauxites de l'Ariège[1]. — La bauxite pyrénéenne apparaît, en général,

[1] Roussel. (B. S. G. F., t. 15, p. 601; t. 19, p. 202; B. C. G. F., n° 35, 1894). De Lacvivier. *Et. géol. sur l'Ariège*, p. 90. — Dans les Pyrénées-Orientales, on a signalé de la bauxite à Saint-Paul-de-Fenouillet et à Maury.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

en amas, dans les dolomies qui représentent le jurassique supérieur (31), recouverte à son tour par des calcaires aptiens (34) à nérinées, orbitolines et Ostrea Aquila. Elle s'est donc formée sur une région émergée qui, pendant l'infracrétacé, devait occuper la place des Pyrénées orientales et centrales au Sud des sources de la Garonne, peut-être un peu plus tôt qu'en Provence. A Canal (Ariège), on la trouve en masses lenticulaires renfermant de nombreuses nérinées : ce qui semblerait correspondre à une altération des calcaires suprajurassiques. Au Pech de Foix, un calcaire jurassique à nids de bauxite repose sur la dolomie jurassique barbouillée de rouge.

Bauxites d'Italie[1]. — Après avoir longtemps cherché la bauxite dans les Calabres par suite d'une confusion autrefois faite par Sainte-Claire Deville, on l'a trouvée en 1900 en d'assez nombreux points de l'Apennin Central, où on avait essayé jadis d'exploiter des minerais de fer très alumineux. On cite, comme gisements : Rocca di Mezzo, Ovindoli, Lecce dei Marsi, Collelongo et Villavallelonga, autour du lac Fucin, Pescosolido dans la vallée du Liri près de Sora, Cusano Mutri (Bénévent), Dragone près Piedimonte (Caserte), etc. Lecce dei Marsi et Pescosolido sont les gisements plus importants et les mieux situés ; mais leur exploitation est encore insignifiante.

La bauxite se présente à un niveau très analogue à celui de la Provence, en intercalations dans la partie supérieure d'un calcaire aptien (34) (ancien urgonien) à Requienia Lonsdalei, au milieu d'une série calcaire très peu fossilifère allant du trias au crétacé supérieur. Elle forme des bancs de 1 à 8 m. d'épaisseur, dont la couleur va du brun rouge au rose et au blanc, avec des teneurs allant de 47 p. 100 contre 36 d'oxyde de fer dans des sortes de minerais de fer jusqu'à 59 p. 100 et 18 d'oxyde de fer.

Les variétés claires renferment des nodules plus foncés pisolithiques, qui sont surtout mis en évidence par l'altération à l'air et qui se composent d'écailles concentriques. Dans les variétés foncées, ces pisolithes de 1 mm. à 1 cm. sont d'un brun foncé avec surface brillante et constituent un minerai de fer en grains. Notamment à Lecce dei Marsi, les parties exposées au jour ressemblent tout à fait aux argiles rouges de décalcification. Lotti a fait remarquer, dans la vallée du Liri, que le mur du gîte était érodé et couvert d'une sorte de brèche, tandis que le toit est concordant avec la bauxite. Ailleurs, on n'a pas pu faire de constatations semblables, les gisements n'étant pas encore sérieusement exploités ; mais on a pu néanmoins se rendre compte qu'il y avait là une formation naturellement intercalée dans la sédimentation et non arrivée après coup par intrusion, suivant une théorie autrefois soutenue.

Autriche[2]. — En Autriche, on a trouvé, dans le N. E. de la Carniole, des veines de bauxite sans grande valeur intercalées dans les calcaires tria-

[1] 1901. Mattirolo. *Bauxiti italiane* (Ras. min., t. 14, p. 229). — 1901. Cassetti. *Bauxiti italiane* (Ras. min., t. 15, p. 17). — 1902. Aichino. *Bauxite* (Ras. min., t. 15). — 1903. B. Lotti. *Sul giac. di bauxite di Colle Carvenzi... nella valle del Liri* (Ras. min., t. 18, 8 p.). — 1903. V. Novarese. *Der Bauxit in Italien* (Z. f. pr. G., p. 299 à 301 et bibl.).

[2] Cf. 1879. Bischof. *Bauxit Vorkommen in Deutschland* (Dingler, 233, p. 465).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

siques et jurassiques, avec des teneurs atteignant 64 p. 100 d'alumine dans les variétés blanches. Munier-Chalmas avait autrefois étudié, dans le Karst, d'innombrables filons de bauxite de 0,15 m. à 0,20 traversant le crétacé, qui lui paraissaient en rapport avec d'autres fractures, où s'était concentrée l'hématite. On a retrouvé depuis, en divers points de l'Istrie, des poches de bauxite dans un sable rouge. En 1907, on a annoncé la découverte de bauxite dans l'île de Lesina.

En Styrie, on connaît un autre gisement n'ayant également qu'un intérêt minéralogique près de Prichova, sous la forme de nodules dans des argiles recouvrant les calcaires secondaires.

Irlande. — Le Nord de l'Irlande (Antrim et Derry) produit une bonne partie de la bauxite employée dans les usines d'Ecosse. On cite, comme exploitants, l'Antrim Iron Ore Cy à Cushendall, et deux autres sociétés à Cargan et Ballymore. La bauxite est associée, comme d'habitude, avec des minerais de fer.

Inde. — Des bauxites assez abondantes existent dans l'Inde, district de Balaghat. Leur teneur en alumine va de 52 à 59 (exceptionnellement 65 p. 100). Elles sont souvent remarquables par le développement de l'acide titanique qui, en petites quantités, est, nous l'avons vu, un élément constant des bauxites, mais qui atteint parfois là près de 12 p. 100.

États-Unis[1]. — La production de bauxite des Etats-Unis était montée, en 1907, à 100 000 t. ; la crise de 1908 l'a fait retomber à 52 000 t. Cette production vient, pour les deux tiers, de l'Arkansas ; pour le reste, de la Géorgie et, accessoirement, de l'Alabama et du Tennessee. Cette bauxite sert, non seulement pour la production d'alumine, mais aussi pour la fabrication de cet abrasant qu'on appelle l'alundum et pour la confection de matériaux réfractaires. Les bauxites françaises viennent lui faire concurrence.

Le district de Géorgie-Alabama comprend une série de dépôts allant d'Adairsville (Bartow County, Géorgie), à Jacksonville (Alabama), sur près de 200 km. de long, mais seulement 15 km. de large. On a pu en retirer 300 000 t. et on suppose qu'il en reste autant. Dans l'Arkansas, les principaux dépôts sont dans les comtés de Saline et de Pulaski. Leur formation est beaucoup plus régulière.

Un gisement découvert en 1908 en Géorgie et sans relation avec les précédents paraît appartenir au crétacé inférieur (Tuscaloosa formation) et est recouvert par des argiles et sables éocènes. La bauxite se trouve sous une argile rouge sableuse éocène, sur une argile blanche massive, sorte de kaolin qui aurait pu la produire par désilicification. Elle a une structure pisolithique, avec les teintes ordinaires rouge brique, brun, jaune, etc. On en a reconnu plus de 100 000 t.

Nouvelle Galles du Sud. — Des couches à bauxite assez étendues

[1] 1894. HAYES. *Bauxite des Sud-Appalaches* (C. R. Z. f. p. G., p. 256). — 1900. HAYES. *The Arkansas Bauxite* (21th Ann. Rep. U. S. geol. Surv., p. 435-472). — 1901. WATSON. *The Georgia Bauxite deposits* (The Am. geol., juillet, 25-45). — 1906. *Mineral Ind.*, t. 15 et t. 16, p. 98, etc.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

se trouvent sur le district stannifère d'Emmaville sous forme de noyaux pisiformes dans une sorte de couche volcanique. Le terrain contient, presque toujours, du phosphore et du titane.

RUBIS ET SAPHIR

Pierres précieuses. Usages et reproduction artificielle. — L'alumine cristallisée naturelle constitue les pierres précieuses dites *gemmes orientales*. Mélangée à de l'oxyde de fer, elle donne *l'émeri*, étudié plus loin comme abrasif.

L'alumine cristallisée qui est, après le diamant, le plus dur des minéraux, forme : lorsqu'elle est incolore, le corindon ; lorsqu'elle est colorée en rouge par un peu de chrome, le rubis ; lorsqu'elle est bleue, le saphir : jaune, la topaze orientale ; pourpre, l'améthyste orientale. Des expériences curieuses de Bordas[1] ont montré que l'action du radium fait passer le corindon au jaune, le saphir au vert, le rubis au violet, au bleu, au vert ou au jaune : ce qui tendrait à faire attribuer, dans les colorations naturelles, une part à la radioactivité.

Le rubis est, lorsqu'il atteint une certaine dimension, la pierre précieuse la plus chère de toutes. Sa reproduction artificielle, aujourd'hui réalisée en grand, tend et tendra de plus en plus à le déprécier. Les petits rubis, où l'on implante les pivots des montres de précision, ont toujours eu peu de valeur.

Corindon, rubis, saphir, sont aujourd'hui l'objet d'une fabrication industrielle, dont nous devons dire quelques mots avant de décrire leurs gisements minéralogiques.

Synthèse du rubis et du saphir. — Les synthèses scientifiques ont été nombreuses avant d'entrer dans la voie pratique.

Sainte-Claire Deville a reproduit le corindon en décomposant à haute température le fluorure d'aluminium par l'acide borique dans un creuset de charbon ; Ebelmen, en fondant l'alumine avec un excès d'un dissolvant volatil à haute température (borax, carbonate de baryum ou carbonate de sodium) ; Friedel, en faisant agir sur l'alumine une dissolution de carbonate de sodium à haute pression ; Frémy et Verneuil (1890), en faisant agir simultanément le fluorure de baryum et le carbonate de potassium sur l'alumine, avec quelques millièmes de bichromate de potassium ayant pour but de donner la couleur rouge, à la température de 1350°.

L'industrie du rubis artificiel produit annuellement à Paris plus de 5 millions de carats[2]. Le procédé consiste à fondre au chalumeau oxhydrique de l'alumine ou de la poussière de rubis naturel par petites masses ajoutées peu à peu. La matière cristallise immédiatement et la fusion se localise à une couche superficielle de quelques dixièmes de millimètre. On saupoudre cette nappe liquide d'oxyde de chrome et la coloration rouge produite se diffuse, et dans la couche en fusion, et dans la masse déjà solidifiée. Ce procédé, qui réussit très bien pour le rubis, a

[1] *Rubis et radium* (La Nature, n° 1798, 9 nov. 1907).

[2] 1906. L. De Launay. *Les rubis de synthèse* (La Nature, n° 1710, 3 mars).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

échoué longtemps pour le saphir. Si l'on remplace l'oxyde de chrome par des oxydes susceptibles de donner une coloration bleue, oxyde de cobalt, de fer, etc., le phénomène change complètement ; ces oxydes sont rejetés par l'alumine en fusion et surnagent à la surface de la couche fondue sans se mélanger avec elle. Cependant on a reconnu (Paris et Verneuil) qu'avec des traces de chrome ou de magnésie, on fixait la couleur bleue, mais en rendant la pierre amorphe au lieu d'être cristallisée[1]. Enfin, en 1910, Verneuil a obtenu le saphir cristallisé par la fusion et la recristallisation dans un milieu réducteur de l'alumine additionnée d'un peu d'oxyde de fer et de titane[2].

D'autre part, on désigne, sous le nom d'*alundum*, un produit artificiel remplaçant l'émeri dans ses applications et qui est obtenu aux Niagara Falls par la Norton Emery Wheel Cy de Worcester en traitant la bauxite au four électrique. La production annuelle est de 3.200 t. La composition de l'alundum est celle du corindon ; mais, ayant passé par l'état liquide, il est plus dur et peut être employé pour tailler et polir les rubis ou saphirs.

Gisements de rubis et de saphirs. — Les gisements où l'on exploite, en général, le rubis et le saphir sont, comme pour le diamant autrefois, presque toujours des alluvions de rivière. Nous insisterons tout d'abord sur quelques gîtes qu'on peut considérer comme originels et qui présentent, par suite, un plus grand intérêt géologique : 1° dans des granulites ; 2° dans des terrains métamorphiques.

Comme *gîtes dans les granulites*, on peut citer probablement la plupart de ceux de l'Inde, du Tibet, de la Chine, des monts Ourals, dont la désagrégation superficielle isole les gemmes. C'est le cas, en particulier, à Carnatic et au Malabar, où l'on trouve du corindon adamantin (c'est-à-dire opaque), ou translucide, avec un grand nombre de clivages faciles. Dans l'Inde, à Ceylan et au Pégu, les saphirs et rubis semblent également provenir de roches cristallines. A Mozzo, en Piémont, les cristaux de corindon sont engagés dans un feldspath altéré, qui paraît résulter de la décomposition d'une granulite[3].

Enfin, dans les monts Ilmen, les corindons et saphirs se trouvent dans des filons de granulite à grain fin traversant le gneiss et atteignant parfois jusqu'à 0,30 m.

Comme types de *corindon dans des dolomies*, on peut citer ceux du Saint-Gothard, de Brunnen dans le Haut-Valais et de quelques points des Etats-Unis. A l'état microscopique, ils sont assez fréquents dans les cipolins, en cristaux invisibles à l'œil nu. A. Lacroix en a signalé dans un cipolin de l'Ariège, où ils sont associés avec du spinelle, du rutile violet et de la chondrodite[4].

[1] 1909. TROLLER. *La reproduction du saphir* (La Nature, n° 1858, 2 janv.).

[2] C. R., 17 janv. 1910.

[3] 1879. SELLA. *Sul feldspatho corindonifero del Biellese* (Sc. dei Lincei, 3e série, t. 3, p. 229).

[4] Il est possible que les traces de chaux empruntées aux terrains encaissants jouent, dans la coloration des pierres, un rôle analogue à celui que nous avons signalé en parlant de la reproduction artificielle.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Industriellement, il y a lieu d'insister sur les *gisements d'alluvions.*

Dans l'Inde[1] et les pays qui s'y rattachent naturellement, comme l'Afghanistan, Ceylan, la Birmanie, on peut citer trois centres principaux de production des gemmes colorées, et spécialement des rubis, saphirs, etc.

Tout d'abord, à la limite Nord-Est de l'Afghanistan qui touche au Pamir, à l'Est de Faisabad et à peu près sur le 37e degré lat. par 71°,30 long., il est, dans la vallée du Pandch, à *Soussi*, en Badakchan, une mine de rubis fameuse. Puis c'est le Sud-Ouest de *Ceylan*, dans les deux districts de Ratnapura et Rawkana, situés à environ 50 km. l'un de l'autre. Enfin, à l'Est de l'Iraouaddy, en Birmanie, les mines de rubis de *Mogok* sont également classiques. Dans tous ces points, l'exploitation porte uniquement sur des alluvions plus ou moins anciennes, et les pierres précieuses se sont concentrées dans celles-ci, presque indépendamment de leurs conditions de gisement primitives, uniquement par le fait de leur dureté, qui les a fait échapper à la destruction dans cette préparation mécanique. Mais, si l'on remonte à l'origine première, on peut, d'une façon générale, rattacher la présence de ces pierres aux venues granulitiques. La cristallisation de l'alumine, sous la forme de corindon, rubis ou saphir, a été accompagnée, là comme toujours, par celle des spinelles, des chondrodites, des grenats. En même temps, les granulites elles-mêmes contenaient des minéraux géodiques, comme le mica blanc, l'orthose (pierre de lune), etc.

Dans les gisements de Ceylan, où les pierres rencontrées sont extrêmement diverses, il y a certaines associations habituelles, qui tiennent en partie aux conditions de gisement primitives. On trouve ensemble les divers spinelles avec des grenats et souvent des zircons. Les œils-de-chat se présentent d'ordinaire avec des aigues marines et des béryls, dont le plus recherché est l'alexandrite.

Les rivières de la côte méridionale de Ceylan, notamment dans le Ratnapura, la « ville des rubis », sont riches en gemmes, et le sable même, composé de pierres dures et débris, sert aux lapidaires pour le polissage. Les plus belles pierres se trouvent dans une ancienne couche détritique, dite *nellan,* antérieure aux dernières éruptions basaltiques.

Ce nellan est situé souvent entre 4 et 7 m de profondeur. Il con-

[1] Voir: L. De Launay. *Asie,* p. 117, 710, etc., avec bibl., cf. — 1802. De Bournon. *Descr. of the corundum stone and its var.* (Phil. tr. London). — 1842. Newbold. (Journ. Roy. As. Soc., t. 7, 219). — 1842. Campbell. (Cal. Journ. Nat. Hist., t. 2, 281). — 1845. Sherwill, W.-S. *Corundum mines in Singroovlee* (Jour. As. Beng., t. 14, p. 15). — 1857. Balfour. (Rec. Gov. Madras, t. 39, p. 91). — 1874. Jenks. *On the occurrence of sapphires and rubies in situ with corundum at the Culsagee Corundum mine* (Q. J. g. Soc. Lond., t. 30, p. 303). — 1882. *Saphirs du Kashmir* (Rec., t. 15, p. 138; Manual of the Geology of India, part. 4, p. 40). — 1882. Mallet, F.-R. *On sapphires lately discovered in the N.-W. Himalayas* (Rec. Geol. Surv. Ind., t. 15, p. 138-141). — 1883. Fergusson. *Gold, gems and pearls in Ceylon and Southern India.* — 1885. Ball, V. *On the newly discovered Sapphire mines in the Himalayas* (Proc. Roy. Soc. Dublin, 4, 393-395). — 1890. La Touche. *Les mines de saphirs de Kachemire.* — 1890. De La Touche. *The sapphire mines of Kashmir* (Rec. Geol. Sur. Ind., t. 23). — 1890. *Saphirs du Cachemir* (Annuaire géol., p. 775). — 1891. *On the reported Ruby-Mine in the Mainglon State* (Rec. India, t. 24). — 1896. *On some Corundum localities in the Salem and Coimbatore districts, Madras* (Rec. India, 29). — 1900. *Die Rubingruben Burmas* (Z. f. pr. G., p. 322). — 1902. *Edelstein Gewinnung in Ceylon* (Z. f. pr. G., p. 414).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

siste en galets de granite, gneiss et autres roches anciennes empâtés dans l'argile. Au-dessus, vient une croûte dure de quelques centimètres d'épaisseur nommée *Kadua*, qui, dans certains points, protège le nellan au-dessous contre l'action des torrents ; le tout est recouvert de graviers récents. Dans le nellan, il y a des poches, nommées par les indigènes pieds d'éléphants, où les gemmes se concentrent.

Ajoutons quelques détails statistiques sur les deux régions productries : la Birmanie, et le Sud-Ouest de Ceylan.

Dans le Burma supérieur, en 1904 et 1905, cette industrie a pris un sérieux développement. Les principaux travaux ont été faits à *Mogok*, où la *Ruby Mines Cy*, après des phases difficiles, a obtenu des résultats encourageants : entre 1 500 000 fr. et 2 300 000 fr., de pierres par an. L'extraction de 1904 et de 1905 représente environ 266 000 carats. La compagnie paye au gouvernement une annuité de 350 000 fr., plus 30 p. 100 des bénéfices au-dessus d'un certain chiffre. Ces mines, qui produisent en outre un peu de saphirs et de spinelles, occupent un millier d'ouvriers. On y trouve parfois des pierres exceptionnelles ; ainsi, en 1899, un rubis de 77 carats évalué 666 000 fr. En 1907, la valeur des rubis exportés a monté à près de 3 millions ; mais, depuis lors, la production a diminué.

A Ceylan, les deux régions les plus riches en gemmes sont, nous l'avons dit, les districts voisins de *Ratnapura* et *Rawkana*, situés dans le Sud-Ouest de l'île. Les gemmes, réparties dans les alluvions, y sont riches en pierres de tous genres, à l'exception des diamants et des émeraudes. Rawkana est particulièrement renommé pour ses saphirs.

Dans ces dernières années, l'extraction a diminué : les mines tendant à s'épuiser.

Une grande partie des pierres est immédiatement taillée sur place à Ratnapura et à Kalutara, un petit port à 60 km. Sud de Colombo.

On retrouve des mines de rubis et saphirs au *Siam*, près de Chantaboun. La mine de Painlinh, la plus connue, produit des saphirs ; celle de Navong, plutôt des rubis. On parle, sur ces deux points, de près de 9 000 hommes occupés au travail. Un gisement de saphirs a été également reconnu sur le Mékong, à *Xien-Khong*.

Au *Queensland*[1], on exploite des alluvions à saphirs dans le district d'Anakie, sur la ligne du chemin de fer central. La production a passé de 175.000 fr. en 1903 à 750.000 fr. en 1907, 380 000 fr. en 1909. Les pierres sont rarement d'un beau bleu, mais toujours plus ou moins sombres. On trouve, en même temps, du zircon hyacinthe et souvent des noyaux de basalte à pléonaste renfermant eux-mêmes des saphirs.

Les mines de corindon, rubis et émeri de *Kornilowsk en Sibérie* ont été décrites par Zerrener[2].

Kornilowsk se trouve à 9 km. du gîte de Mursinsk en Sibérie orientale, visité par de Humboldt. Les rubis y ont été exploités dans une fosse de quelques 100 m. de long et de 20 à 30 m. de large, où l'on trouvait, en même temps, beaucoup de corindons, des saphirs et quelques topazes.

[1] 1907. J. Plummer. *Australian Sapphires* (Scientif. Americ. 27 avril). — 1911. Douglas Sterrett. *The prod. of gems and precious stones in 1909* (U. S. Géol. Surv.).

[2] Cf. L. De Launay. *Asie*, p. 574 à 577.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les cristaux de corindon sont cassés suivant les faces de clivage et roulés. Leur aspect extérieur est celui de fragments d'argile rougeâtre, souvent cimentés ensemble par une boue ocreuse. A *Séliankaia*, on a également trouvé du saphir.

Aux *Etats-Unis*, on a exploité un moment, en 1890, dans le Montana, près d'Helena, sur le Missouri, un gisement de saphirs dans les alluvions glaciaires reposant sur un schiste vert.

ABRASIFS, ÉMERI ET CORINDON[1]

Usages. — L'émeri et le corindon sont utilisés comme abrasifs. Les Américains font, avec le corindon, des roues vitrifiées. L'émeri de bonne qualité, tel que celui de Naxos, peut également être employé pour cet usage; mais il faut qu'il renferme peu de fer, les roues devant être portées à une température de 3 000 degrés. L'émeri est meilleur pour le polissage que le corindon, parce qu'il raye moins. Aussi, pour les variétés très fines où il s'agit surtout d'un polissage, préfère-t-on l'émeri de Turquie à l'émeri de Naxos, tandis que ce dernier a plus de valeur en gros grains. Les produits abrasifs artificiels, tels que l'alundum (corindon artificiel), le carborundum, l'adamite, étant plus durs, coupent plus vite, mais rayent aussi davantage, en sorte que leurs usages sont différents.

Statistique. — L'émeri n'est guère produit dans le monde que par les gisements de Naxos, de Smyrne et du Canada. A Naxos, le droit d'exploitation payé au gouvernement a été, jusqu'en 1852, de 70 fr. par tonne, puis de 150 fr. Le prix de vente, qui atteignait 780 fr. en 1848, est tombé un moment à 65 fr. en 1895, puis remonté à 100 ou 110 fr. On a produit, en 1906 à Naxos, 10 982 t. valant 1 137 000 fr. En 1909, on a exporté 7 964 t. Les exportations d'Asie Mineure, qui se font par Smyrne et par Kuluk, sur le golfe de Mandalia, montent à 20 000 t. par an, dont les deux tiers vont aux Etats-Unis. Au Canada, les gisements sont dans l'Ontario, district de Craigmont. Au total, les mines du Canada ont traité, en 1909, 36 000 t. de minerais bruts pour obtenir 1 580 t. de corindon en grains.

Gisements de Naxos et de Smyrne[1]. — Les gisements de l'émeri et du corindon en masses sont comparables à ceux des gemmes étudiées plus haut.

Ceux de Naxos et de la région de Smyrne, paraissent avoir une origine assez analogue : cristallisation de l'alumine dans des calcaires métamorphiques; mais les gisements de Naxos, qui présentent seuls le minerai réellement en place, sont de beaucoup les plus instructifs.

On exploite à *Naxos* (Aspiranthos et Koronis), des masses lenticulaires

[1] *Richesses minérales de l'Asie*, p. 99 et 655 avec bibl. — 1907. Kramer, Rudolf. *Kleinasiatische Smirgelvorkommnisse* (Berlin, Frenkel, 8°). — 1903. Zenghelis. *Les minerais et minéraux utiles de la Grèce* (C. R. du 5e Congrès intern. de Chimie appliquée à Berlin. Athènes). — 1905-06. S.-A. Papavasiliou. *Sur l'émeri de Naxos* (Geol. Zentralblatt, t. 7, 1058, et t. 8, 255). — 1909. S.-A. Papavasiliou. *Ueber die vermeintlichen Urgneisse und die Metamorphose des krystallinen Grundgebirges der Kykladen* (avec carte géologique de Naxos) (Zeits. der deuts. geol. Gesel., t. 61, p. 134). — Coll. Ecole des mines, Naxos (1220); émeri de Bladjah, près Smyrne (1371).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'émeri, encaissées dans des calcaires et dolomies saccharoïdes, dont le soubassement est formé de micaschistes. Ces masses ont, suivant les points, 5 à 50 m. d'épaisseur. Le cube total a été évalué à 5 000 000 t. Le développement de l'émeri dans ces calcaires est à rapprocher des conditions bien connues, dans lesquelles le corindon apparaît au milieu des cipolins ou des schistes cristallins (Ceylan, Birmanie, Siam, etc.). On sait que ce mineral fait alors partie d'un groupement, dans lequel on rencontre souvent, en même temps, du spinelle, de la chondrodite et du rutile. Généralement, on observe alors, au voisinage, la présence d'une intrusion granitique, à laquelle on peut attribuer cette cristallisation d'alumine, d'aluminate de magnésie, de silicates magnésiens, etc., par l'intervention du carbonate de soude. Dans les gisements d'émeri proprement dits, il semble qu'on ait affaire à un métamorphisme plus général. La magnétite et l'oligiste y sont en associations normales avec le corindon : associations, qui constituent à proprement parler l'émeri et qui représentent, sans doute, des éléments ferrugineux empruntés au terrain sédimentaire et recristallisés. Il en est de même du titane, qui se montre, tantôt à l'état de rutile, tantôt en brookite ou en fer titané.

On peut rappeler, à ce propos, sans faire cependant aucune assimilation, la façon dont l'alumine s'est concentrée dans certains gisements de ségrégation dérivés des gabbros, norites, péridotites, peut-être comme terme extrême d'une localisation d'aluminate de magnésie et a fini par y cristalliser en spinelles, corindons, magnéto-corundites, souvent titanifères, etc.[1].

L'émeri de *Smyrne*, dont les gisements principaux sont à Ala-djaly et Hassan-Tchauchlar, 60 km. Sud-Est de Smyrne, un peu au N.-E. d'Ephèse, ou encore, plus au Sud, entre Assisié et Sokia, semble avoir une origine analogue ; car on le trouve fréquemment associé avec des fragments de calcaires cristallins. Mais ces gisements sont là uniquement des produits détritiques. A Ala-djaly, on exploite surtout une sorte de brèche à débris anguleux de calcaire cristallin et d'émeri, remplissant, dans le calcaire, des fissures superficielles, ou, dit-on, de véritables grottes, qui, elles aussi, pénètrent peu profondément. Weiss a décrit une de ces grottes ayant 100 m. de long sur 20 m. de large et 10 m. de haut. Mais sa description n'est pas absolument probante sur le point essentiel de savoir si ces grottes ne résulteraient pas de l'exploitation même à une époque plus ancienne.

En un point, d'après le même auteur, la brèche formait une sorte de couche horizontale ayant $1^m,50$ d'épaisseur moyenne et reposant sur un calcaire normal, tandis que son toit était constitué par du calcaire altéré, terreux et ferrugineux. Le calcaire du mur, à son tour, recouvrait là un micaschiste.

Dans le gisement situé entre Assisié et Sokia, les conditions sont les mêmes : débris d'émeri et de calcaire cristallin dans une terre rougeâtre sur du calcaire normal, ou remplissage d'excavations dans le calcaire cristallin par une brèche analogue ; soubassement de micaschistes.

En somme, il y a une singulière ressemblance entre l'émeri et les groupements dont font partie, comme termes extrêmes, la bauxite et le fer en

[1] Voir plus haut, t. 2, p. 232.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

grains : groupements se présentant ici, dans le cas de l'émeri, sous une forme cristallisée. Il est permis de se demander, à titre très hypothétique, si ce ne seraient pas, en effet, d'anciennes bauxites qui auraient donné l'émeri, comme les calcaires donnaient les cipolins, ou les argiles, les schistes. Dans cette idée, il y aurait lieu de rechercher si les grottes signalées par Weiss n'auraient pas pu jouer un rôle.

Tchihatcheff a signalé autrefois[1] la richesse en blocs d'émeri de toute la région située un peu au Sud, entre l'île de Samos et Milas, notamment entre Bafi, Mendelia et Milas, ou, plus loin, à l'Est, vers Eski-hissar. Cet émeri semble être associé à des calcaires métamorphiques, englobés dans des micaschistes. On observe, à l'Est de Milas, des blocs assez nombreux de fer titané traversés par des veines de corindon bleu.

Etats-Unis. — Un gisement remarquable a été signalé par Jackson aux *Etats-Unis*[2]. Il fait partie d'un banc situé dans le territoire de la ville de Chester, dans le Hampdenshire, au milieu de l'Etat de Massachusetts. Son épaisseur varie de 1 à 3 m., et il a été suivi sur une longueur de 7 km. Il est intercalé dans les schistes talqueux. On avait commencé par l'exploiter en le prenant pour du fer magnétique. Une des parties du gisement, dite de la montagne du Sud, est, en effet, assez fortement mélangée de fer magnétique ; mais l'émeri de la montagne du Nord est très pur.

On y trouve, outre le corindon qui existe en veines de 2 à 3 cm., du diaspore, de la tourmaline, de la brookite et du fer titané.

Les Etats-Unis ont produit, un moment, dans les États de Massachusetts, New-York, North Caroline et Géorgie, une certaine proportion de corindon pour abrasif qui, de 450 t. en 1881, est montée à 1780 en 1890, à 5000 en 1900, pour retomber à 710 en 1908 et à 1100 en 1909. Ce corindon est exploité surtout dans une serpentine dérivant d'une péridotite intercalée dans le gneiss, qui forme une veine au S.-W. de la Caroline du Nord, à Corundum Hill et se prolonge en Géorgie.

Les Etats-Unis, ayant une très faible production, importent 12 à 15 000 t. d'émeri venant de Grèce, Turquie et du Canada. La Pittsburg Emery Wheel Cy en fait des roues[3]. On utilise également l'alundum.

Au *Canada*, la province d'Ontario produit, depuis peu d'années, environ 1.500 à 2.000 t. de corindon très pur.

Aux *Indes*, on a signalé un peu de corindon, notamment sur la rivière Raindu, affluent du Someshveri.

ALUN, ALUNITE, etc.

Nous avons précédemment rappelé les usages de l'alun et indiqué les minerais d'où on le retire. Nous dirons seulement quelques mots sur les aluns naturels et schistes alumineux, et nous insisterons un peu plus longuement sur l'alunite.

[1] *Loc. cit.*, I, 561 à 565.

[2] Sillimann's Journal, t. 40, p. 112 et 113 ; t. 42, p. 83 et 107; cf. Ann. des M., 1868, 6e, t. 14, p. 320.

[3] *Mineral Industry*, 1907, p. 445 (par Claude T. Rice) ; 1908, p. 335.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ALUN

1° L'*alun naturel* se forme couramment à l'état d'efflorescence par la décomposition superficielle de trachytes contenant des parties pyriteuses. On rencontre ainsi des cristaux d'alun mêlés aux argiles de décomposition dans une foule de régions volcaniques. Une petite exploitation existait autrefois au pied du Mont Dore. On en a trouvé également à Pouzzoles, près Naples. En Asie Mineure, les habitants puisent, depuis un temps immémorial, dans de telles efflorescences pour leurs besoins locaux[1]. Aux Etats-Unis, on connaît, dans l'Ouest, quelques grands gisements de ce genre : par exemple, près des mines d'or de Goldfield (Nevada) et sur le Gila River dans le comté de Grant (N.M.)[2]. Mais, comme les besoins d'alun sont dans l'Est, l'alun consommé de ce côté est uniquement obtenu en partant de la bauxite dans les usines de New-York, Philadelphie, Boston, Detroit, etc.

2° Les *schistes alumineux* pyriteux de Picardie, de Liège, de Suède, sont généralement des schistes ampéliteux du cambrien ou du silurien. Quand on les grille et qu'on les laisse ensuite tomber en efflorescences, la pyrite donne de l'acide sulfurique formant du sulfate d'aluminium, auquel il suffit d'ajouter du sulfate de potassium, provenant en général du traitement de la kaïnite de Stassfurt par l'acide sulfurique. En Suède, le feldspath de la roche fournit la potasse nécessaire.

ALUNITE

L'alunite, dont la composition correspond à K^2SO^4, $Al^2(SO^4)^3$, $2Al^3O^6H^6$, est une substance minéralogique blanche, quelquefois rosée, cristalline, rarement cristallisée, de densité 2,6 à 2,75. C'est un sous-sulfate de potassium et d'aluminium contenant 57 p. 100 d'alun ordinaire et rendu insoluble par sa combinaison avec un excès d'alumine. Une calcination modérée, suivie d'un lessivage et d'un mélange avec du sulfate de potassium de Stassfurt, donne de l'alun. Tandis qu'il se forme couramment des cristallisations d'alun dans toutes les régions de roches volcaniques, où circulent, pour une raison quelconque, des eaux chargées d'acide sulfurique, l'alunite est un minéral assez rare, dont la cristallisation a pu nécessiter des conditions spéciales de température et de pression : les réactions constituantes ayant, d'ailleurs, comme nous allons le voir, dû être les mêmes. Bien des gisements signalés comme gisements d'alunite sont, en réalité, des gisements d'alun. Le point d'extraction principal d'alunite et le seul que nous décrirons est celui de la Tolfa, près Civita Vecchia, qui fut découvert après la prise de Constantinople par un gentilhomme vénitien revenant d'Asie Mineure, où il avait vu des gisements semblables et qui a été longtemps exploité par le gouvernement pontifical.

[1] 1898. L. De Launay. *Etudes géologiques sur la mer Egée*, p. 44. — Cf. Coll. Ec. M : Montionl (Toscane) (2367) ; Bercghzasy (Hongrie) (1122) ; Madiat (Puy-de-Dôme) (2370).

[2] 1906. C. W. Hayes. *Contrib. to Econom. Geol.*, p. 215-223. Le sulfate d'aluminium vaut environ 100 fr. la tonne aux Etats-Unis.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La Tolfa [1]. — La région de la Tolfa est constituée principalement de terrains éocènes, par-dessus lesquels se sont épanchés les trachytes de l'Allumiere, formant un massif triangulaire d'environ 8 à 9 km. de côté et recouverts, à leur tour, du côté Est, par les argiles à gypse du miocène supérieur. Sur tout le flanc Sud du massif trachytique, les filons de pyrite plus ou moins altérés, parfois accompagnés d'autres sulfures (galène à Cava del Piombo, etc.), sont abondants.

Quand on pénètre dans le massif trachytique lui-même, ce ne sont plus de semblables filons pyriteux que l'on rencontre, mais de nombreuses veines d'alunite, sur lesquelles l'exploitation porte depuis quatre siècles et demi [2]. Il ne nous paraît pas douteux que celles-ci représentent une autre forme superficielle de gisements semblables, à rapprocher de tous les autres cas d'altération étudiés dans cet ouvrage, et sur laquelle nous croyons utile d'insister, la nature réelle de ces phénomènes étant encore discutée.

L'alunite est, à notre avis, un produit de décomposition du feldspath, connexe du kaolin que l'on exploite dans la même région, souvent sur les mêmes filons, et, comme ce kaolin, destiné forcément à disparaitre en profondeur. La théorie, que l'on professait autrefois, était différente : on admettait des vapeurs sulfureuses, des sortes de solfatares ayant circulé dans les fissures du trachyte et ayant attaqué directement en profondeur les feldspaths de celui-ci, et l'on supposait volontiers une relation entre ces divers phénomènes et la venue trachytique elle-même. Nous croyons, au contraire, qu'il a eu deux phases successives tout à fait distinctes dans le phénomène : 1° dépôt filonien ayant donné des zones bien nettes de trachyte pyritisé, correspondant peut-être à des veines d'un trachyte particulièrement feldspathique et, en même temps, pyriteux, comme les granulites de Berezovsk (Oural) ; 2° pénétration des eaux superficielles dans ces roches feldspathiques ayant produit, lorsque la pyrite manquait, la forme ordinaire de feldspaths altérés, c'est-à-dire le kaolin, ou, lorsque la pyrite, au contraire, fournissait l'acide sulfurique, de l'alunite cristallisée.

Voici quelle est la disposition des filons d'alunite. Le minerai d'alunite cristallisée et de quartz remplit, au milieu du trachyte, une série de veines, dont la disposition paraît être lenticulaire en direction comme en inclinaison, si bien qu'on a pu les considérer comme des fissures de retrait de la roche, remplies par une dernière exsudation avec fumerolles sulfureu-

[1] Gisement visité en 1905. — Voir. *Gîtes métall.*, II, 607 à 612 et bibl. p. 612. — Coll. Ec. d. M. 1938 — 1816. Collest Descotil. *Alunières de la Tolfa* (An. d. M., t. 1). — 1829. Coquand. *Sur les alunières de la Toscane* (B. S. G. F., 2e, t. 6, p. 91). — *Revue de géologie* (Ann. d. M., 7e, t. 17, p. 116 et 290). — 1868. Fabri. *Descrizione delle allumiere di Montioni.* — 1880. Vialla. (Ind. Min., 2e, t. 9, p. 799). — 1881-82. Klitsche de la Grange. *Le trachiti della Tolfa e le formazioni aluminifere.* — *Sulle miniere di ferro de la Tolfa.* Roma 262 p. in-4°. — 1886. Lotti. *Brevi considerazioni sulla trachite de la Tolfa* (Proc. verb. Soc. Tosc. t. 5). — 1892. De Stefani. *I vulcani spenti dell' Apennino septentrionale* (Bol. della Soc. geol. ital., t. 9, fasc. 3, p. 43-49, avec bibl.) — 1900. Lotti. *I giacimenti metalliferi della Tolfa* (Rassegna mineraria, t. 13, 11 dé.). — 1906. L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 125 à 132. — Carte géol. d'Italie : feuille au 1/100.000e de Civita Vecchia, par P. Zezi. — 1909. *Rivista del serv. min. nel 1908*, p. 385; nel 1910, p. 143.

[2] Je reproduis ici, d'après Ed. Fuchs (fig. 178), un ancien plan de ces fractures qui paraît avoir été trop systématisé.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ses (fig. 178). Ces veines, qui, individuellement, forment des filons très nets à épontes parfaitement définies, doivent, dans l'ensemble, constituer un réseau très compliqué, avec des entrelacements en stockwerk, qui, vers les affleurements, occupaient une grande étendue superficielle et qui ont pu donner lieu aux immenses excavations à ciel ouvert, dont on voit les vides de tous côtés. Puis, l'un après l'autre, ces réseaux de frac-

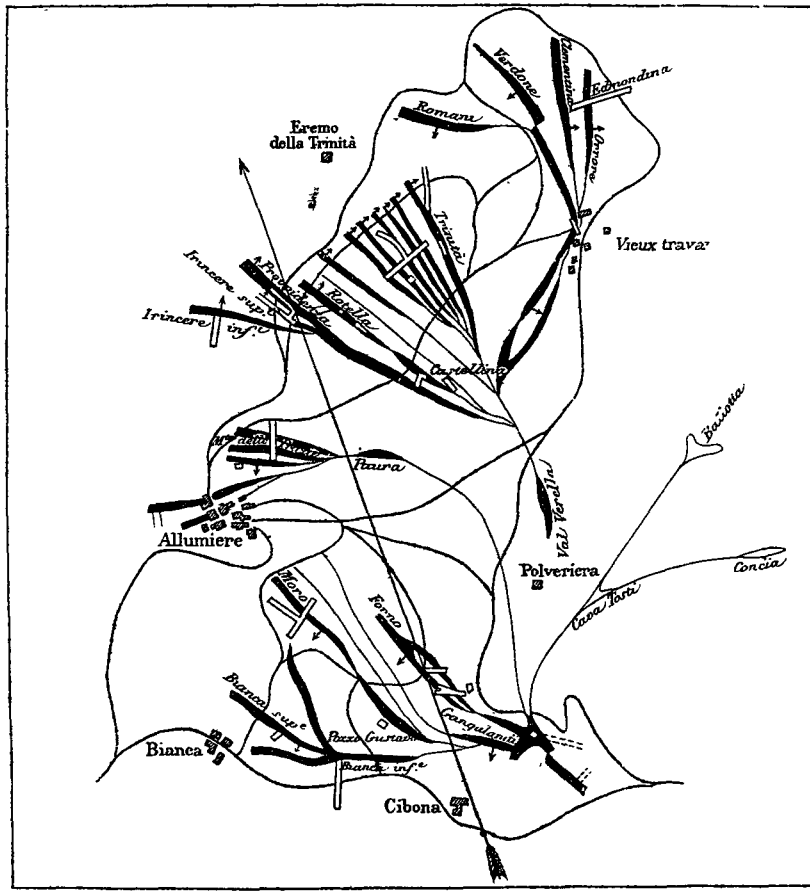


Fig. 178. — Carte des filons d'alunite de la Tolfa et de l'Allumiere. Echelle au 1/3 000e.

tures se sont appauvris en profondeur et l'alunite y a disparu, comme on voit toujours disparaître, dans les mêmes conditions, le kaolin.

Depuis 1874, l'exploitation porte donc uniquement sur un seul filon N.W.-S.E., particulièrement important, le filon Providenza, en dehors duquel on a travaillé autrefois, pendant cinq ou six ans, du côté Nord, sur le filon Rotella aujourd'hui abandonné. Ce filon Providenza, qui atteint, par endroits, 10 m. de large et qui cesse d'être utilisable quand il descend au-dessous de 0, 80 m., a été exploité sur une centaine de mètres de hau-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

teur ; mais, en profondeur, on voit nettement, vers le niveau 390, sa limitation, qui paraît correspondre à peu près au niveau hydrostatique, car la fin des poches d'alunite a été généralement marquée par de très abondantes venues d'eau.

L'appauvrissement avait commencé à se manifester avec l'apparition de la pyrite au niveau 412 au-dessus de la mer ; 20 m. plus bas, le gisement s'est trouvé à peu près terminé.

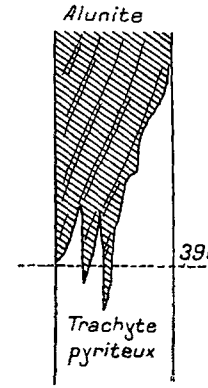


Fig. 179. — Coupe transversale théorique du filon Providenza à la Tolfa.

Les deux figures ci-jointes (fig. 179 et 180) montrent comment s'effectue en profondeur la limitation d'un semblable filon d'alunite. En coupe transversale (fig. 179), on voit s'intercaler, au milieu de l'alunite, des parties de plus en plus nombreuses de trachyte pyriteux, l'alunite se réduisant à des veines de plus en plus minces, qui cessent l'une après l'autre ; en coupe longitudinale (fig. 180), l'apparition du trachyte pyriteux se fait à des niveaux variables suivant les points, en sorte qu'une galerie de niveau A B (fig. 180) se trouve rencontrer des bosses de trachyte pyriteux (B.) entre deux parties d'alunite.

Ce trachyte pyriteux est donc certainement la forme profonde de l'alunite, qui disparaît là où cesse son altération superficielle. Cette altération suit les lois ordinaires que l'on observe dans toutes les réactions du même genre. Par exemple, on trouve, avec l'alunite, comme avec les kaolins, deux formes de silice : d'abord des grains de quartz constituant le résidu de l'attaque des roches feldspathiques et ensuite du quartz emprunté à la dissolution des silicates, dissous en même temps que le sulfate double d'aluminium et de potassium et recris-

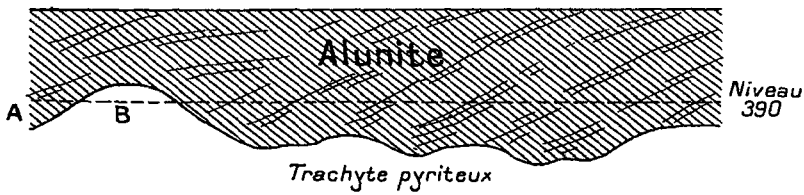


Fig. 180. — Coupe longitudinale théorique du filon Providenza à la Tolfa.

tallisé avec lui. L'alunite apparaît donc mélangée de quartz cristallisé et l'entraînement de cette silice dissoute vers la profondeur fait que la proportion de quartz dans les filons augmente quand on s'enfonce. Le filon d'alunite semble alors devenir plus en plus quartzeux. On observe le même phénomène, soit dans les kaolins, soit dans les filons de phosphorite d'Espagne, soit dans certains filons de manganèse ou de barytine, qui doivent représenter d'autres cas de réactions analogues.

En même temps, la baryte, qui pouvait se trouver associée à la chaux et aux alcalis dans les feldspaths de la roche, s'est, comme toujours, con-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

centrée dans ces réactions superficielles et l'on a des cristallisations secondaires de barytine dans certains chantiers (niveau 390). D'une façon générale, on retrouve, dans l'alunite, tous les éléments basiques des feldspaths, dont la proportion relative est seulement modifiée suivant les lois que j'ai indiquées ailleurs[1], par élimination des éléments solubles, et accessoirement, des éléments qui entrent moins aisément en dissolution : donc augmentation de la potasse par rapport à la soude (12 p. 100 de sulfate de potassium en moyenne contre 2 p. 100 de sulfate de sodium[2]), de la baryte par rapport à la chaux (1 p. 100 de l'ensemble), du manganèse par rapport au fer, etc.

La formation du kaolin et celle de l'alunite étant deux types divers d'un phénomène identique, le passage de l'un à l'autre mode d'altération se manifeste constamment et la limite des veines d'alunite dans le sens longitudinal se fait souvent par la substitution du kaolin à l'alunite : la veine primitive, qui a donné les deux minéraux par altération, ayant, en ce point, cessé d'être pyritisée. Il existe, aux affleurements, des carrières de kaolin au milieu des carrières d'alunite et, en profondeur, on rencontre souvent des poches kaolinisées.

Enfin, dans ces réactions altérantes, on a eu, pour l'oxydation des pyrites, les formes ordinaires de dissolution et de peroxydation, que l'on retrouve, par exemple, dans les gîtes calaminaires, dus à une semblable origine. De même qu'on a des calamines rouges, des calamines blanches et des terres calaminaires, ou des bauxites rouges et des bauxites blanches, de même ici on a de l'alunite rouge, de l'alunite blanche (que l'on trie avec grand soin à cause de l'importance d'éviter le fer, dans la fabrication de l'alun), ou encore des terres jaunâtres d'alunite, parfois accompagnées de kaolin.

L'alunite rouge se trouve ainsi associée au trachyte rouge, sous l'alunite blanche associée au trachyte blanc, non parce qu'il y a là deux types différents de trachyte superposés, dont dérivent deux types d'alunite, mais parce que la zone où l'on se trouve est, dans le premier cas, celle de la peroxydation, dans l'autre, celle de la cémentation. De même, quand on ouvre un chantier nouveau dans un trachyte pyriteux, on voit, avec l'accès de l'air, l'altération commencer à se manifester par des taches d'oxyde de fer avec des cristallisations de sulfate. La rencontre du niveau hydrostatique semble accompagnée d'un dépôt d'oxyde de fer correspondant à une circulation très active des eaux superficielles.

On peut observer également, en s'approchant d'une faille qui limite soudain les travaux à tous les niveaux, que l'alunite devient très blanche, mais se charge de plus en plus de quartz. La circulation des eaux par cette faille a donc dû entraîner un départ du fer et un apport de la silice, etc.

En résumé, l'origine secondaire de l'alunite et son caractère relativement superficiel (peut-être localisé à ce qui était, au moment de sa cristallisation, la zone de cémentation) ne paraissent donc guère contestables.

[1] *Science géologique*. p. 317.

[2] On peut aller à 16 p. 100, de sulfate de potassium. L'alunite pure en contient 21 p. 100 et l'on a des minerais à 90 p. 100 d'alunite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Mais il reste un point obscur, c'est la nature exacte et l'origine précise de ces zones filoniennes de trachyte pyriteux, qui, localisées au milieu d'un trachyte exempt de pyrite, ont dû provoquer, jusqu'à une certaine profondeur, la cristallisation de l'alunite.

On a parfois, comme je l'ai dit, des filons d'alunite absolument nets encaissés dans un trachyte bien dur et que l'on peut alors exploiter jusqu'à 0,80 m. de largeur minima. Il est presque impossible, dans ce cas, d'imaginer une altération partie d'un simple filon de pyrite plus mince, encaissé dans le trachyte, qui aurait réagi par substitution sur le trachyte encaissant. On est à peu près forcé d'admettre, au contraire, que les réactions ont porté sur un filon déjà bien défini et limité, auquel l'imprégnation pyriteuse se sera, pour une cause quelconque, trouvée limitée, et, par exemple, un quartier de roche disloquée compris entre deux failles ayant servi de chenaux aux eaux ascendantes, ou encore une veine postérieure de quelque trachyte pyriteux plus feldspathique, analogue à ces granulites pyriteuses qui forment des filons dans le champ aurifère de Berezovsk et jouant ainsi un rôle analogue à celui des veines de pegmatite dans la kaolinisation des grands massifs granulitiques. Ailleurs, il est vrai, et même dans la plupart des cas, l'alunite, au lieu d'être encaissée dans du trachyte dur, est en contact avec du trachyte décomposé ; mais le contraste n'en existe pas moins. L'altération de ce trachyte encaissant est une kaolinisation, non une formation d'alunite ; c'est-à-dire qu'il ne contenait pas de pyrite susceptible de fournir de l'acide sulfurique à ses éléments alcalins et alumineux. Là encore, la pyrite devait donc se trouver limitée à la veine que nous trouvons aujourd'hui à l'état d'alunite. Enfin il faut signaler des mouvements du sol postérieurs à la cristallisation même de l'alunite, qui est coupée par des failles et présente des miroirs de glissements intérieurs. J'ai déjà signalé une grande faille, qui limite les travaux. Ailleurs, on trouve fréquemment, dans l'alunite, des liens d'argile ferrugineuse, qui occasionnent des éboulements.

Le minerai résultant de ces phénomènes est extrêmement polymorphe. Tantôt l'alunite est cristallisée en baguettes, tantôt elle est en boules radiées ; ailleurs elle forme des masses blanches, comme pétrosiliceuses, qui s'effleurissent à l'air en des terres jaunâtres.

Industrie. — Les alunites de la Tolfa appartiennent, depuis 1878, à la Compagnie française de l'Alun romain, qui possède, outre la concession de 2.340 hectares instituée le 22 sept. 1873, une usine de traitement à Civita Vecchia et une à Rouen. Pendant quatre siècles, de 1460 à 1860, on n'a fait que de grands travaux à ciel ouvert, des *cave*, avec un traitement très sommaire des minerais en gros fragments par simple calcination, laissant les menus que l'on reprend aujourd'hui. Vers 1873, on a établi l'usine de Civita Vecchia et, l'année suivante, on a trouvé par hasard le filon Providenza, qui, depuis ce moment, jusqu'en 1907, a alimenté seul la production. En 1908, ce filon ayant été envahi par les eaux, on a repris les filons Trinita et Tosto vecchio.

La production actuelle est d'environ 5 à 6 000 t. de produits bruts, comptées : en 1902, à raison de 7, 50 fr. la tonne, sur la statistique officielle; en 1904, à raison de 6 fr. ; soit 5 000 t. de produits marchands, dont, à Rouen, 4000 t. composées surtout de sulfate d'aluminium ; à Civita Vec-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chia, 1 000 à 1 200 t. (surtout de l'alun.) On vend de plus, en Allemagne, 7 à 800 t. de « minerai blanc », à minimum de sulfate d'aluminium garanti. L'extraction de 1908 a été de 6 165 t., dont 3 700 t. exportées en France et 1 000 t. en Allemagne; celle de 1909, de 5 636 t. ; celle de 1910, de 6 081 à 14 fr.

L'alunite est très difficilement attaquable par l'acide sulfurique; pour la transformer en alun, on la calcine après l'avoir pulvérisée. Tout d'abord, l'eau d'hydratation se dégage, on constate qu'elle a disparu quand l'alunite en poussière devient fluide comme un liquide. Si on poursuivait alors, l'acide sulfurique commencerait à s'éliminer; si on arrête au contraire, on a un sel déshydraté attaquable par l'acide sulfurique et qu'il suffit de mélanger avec du sulfate de potassium et de l'acide sulfurique pour obtenir de l'alun.

Une tonne d'alunite pure, avec 20 p. 100 de sulfate de potassium et 1 t. d'acide sulfurique, donne 2 t. d'alun cristallisé. Mais, la roche qu'on extrait étant loin d'être exclusivement composée d'alunite, il faut compter, en pratique, une tonne et demie de minerai extrait pour une tonne d'alun.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXXVI

CHROME

Cr = 52,0

A. USAGES, STATISTIQUE ET PRIX

Usages. — Le chrome a deux emplois principaux ; la métallurgie et l'industrie des matières colorantes. Le premier, relativement récent, prend chaque jour une extension plus grande.

Historiquement, on a employé longtemps le chrome uniquement pour les produits colorants, l'alun de chrome, les chromates, etc., avant de lui trouver ses applications métallurgiques. La consommation du fer chromé, qui est le minerai pratique de chrome, était alors assez faible. En 1875, on évaluait la consommation française à 4000 t. Vers 1890, la production mondiale ne devait pas dépasser 30 000 t. Actuellement elle atteint 130 000 t., dont 25000 t. de fer chromé riche à au moins 50 p. 100 de sexqui-oxyde pour la fabrication des produits chimiques, le reste converti en ferro-chrome à environ 70 p. 100 de chrome métal pour la fabrication des aciers chromés durs, ou constitué par du fer chromé relativement impur pour la fabrication des soles. On obtient en grand ces ferro-chromes au four électrique par le procédé Moissan et le chrome métallique par le procédé Goldschmidt.

a) *Métallurgie*[1]. — Dès 1821, Berthier signalait et étudiait les alliages du chrome avec le fer et l'acier. Les progrès actuels de la chimie, en faisant voir combien des doses infinitésimales de certains corps changent les propriétés du métal obtenu, ont vulgarisé l'emploi du chrome, comme celui du nickel, du manganèse, du tungstène, du molybdène, de l'aluminium, etc.

Introduit dans un acier, le chrome n'acière pas, ne remplace pas le carbone, mais augmente la dureté : d'où son application pour la fabrication des blindages, obus de rupture, aciers-outils. Son inconvénient est que l'acier chromé semble être dans un état moléculaire instable, qui occasionne parfois des ruptures subites ; aussi a-t-on une tendance à préférer l'acier dur ou demi-doux.

C'est vers 1878 que la fabrication des aciers chromés a commencé à se répandre. A cette date, elle était spécialisée dans les usines suivantes : aux Etats-Unis, à Brooklyn, New-York (Chrome steel C^ie^) ; en Angleterre, à Scheffield (Seebonne) ; en France, à Unieux, et à l'aciérie Holtzer, de la Loire.

D'autre part, on utilise également le fer chromé pour préparer, en sole

[1] Ann. d. M., 1821, 1re série, t. 4, p. 573, et Ann. chim. et phys., 2e série, t. 17, p. 55. — Cf. 1909. Escard. *Les métaux spéciaux* (1 vol. Dunod).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

neutre, les aciers moulés soudables, les fers fondus soudants par des procédés qui se sont perfectionnés depuis 1888.

Dès 1867, Pochin et Hunt avaient essayé d'employer le minerai de chrome comme produit réfractaire pour la construction de fours, creusets, etc. En 1876, Audouin, puis, en 1881, Garnier, reprirent l'idée en proposant d'appliquer les soles en oxyde de chrome pour la déphosphoration.

Aux Etats-Unis, le principal fabricant de briques en fer chromé est l'Harbison-Walker Refractories Cy de Pittsburg ; les ferro-chromes viennent des Chrome Steel Works (NJ).

b) *Matières colorantes.* — En dehors de la métallurgie, les sels de chrome sont employés en grand nombre comme matières colorantes pour la fabrication des papiers peints, des toiles peintes, pour la coloration en vert des feuilles artificielles, la céramique, etc. On utilise, par exemple, l'oxyde de chrome anhydre Cr^2O^3 dans la peinture sur porcelaine ; le vert Guignet $Cr^2O^3\ 2H^2O$ préféré aux sels arsénicaux pour l'impression des tissus et des papiers peints en raison de son innocuité ; surtout les chromates, tels que le jaune de chrome (chromate de plomb), etc., comme couleurs insolubles.

L'industrie des matières colorantes (chromates) exige généralement des minerais à plus de 50 p. 100 de sesquioxyde de chrome ; ceux d'une teneur inférieure vont à la métallurgie.

Les principales fabriques de chromates sont, en Europe, Glascow et Eberfeld, qui consomment, chaque année, environ 15 000 t. de chromite de fer riche. En Amérique, celles de Baltimore chrome works, qui avaient un monopole il y a quelques années, ont été absorbées en 1908 par la Mutual Chemical c°.

c) *Usages divers.* — Le *bichromate de potassium* sert en photographie pour les tirages au charbon et l'*alun de chrome* remplace parfois l'alun de potassium.

L'acide chromique a des emplois comme source d'oxygène ; en dissolution dans l'acide sulfurique, on l'utilise dans l'électrolyse, où il combat efficacement la dépolarisation en abandonnant de l'oxygène et revenant à l'état de sesquioxyde.

Il faut encore mentionner le tannage au *bichromate de sodium* et l'utilisation de quelques composés de chrome en céramique[1].

Statistique. — Quand nous étudierons tout à l'heure la géologie du fer chromé, nous verrons que ses gisements se composent uniquement d'amas limités formés par ségrégation dans des péridotites et serpentines. Il en résulte le caractère instable et le déplacement fréquent des exploitations individuelles, les champs d'exploitation pouvant néanmoins persister dans certaines régions favorisées par le développement des péridotites chromifères. Les principaux centres de production dans le monde sont aujourd'hui la Rhodesia et la Nouvelle-Calédonie, dont les exportations sont de date récente. L'Asie Mineure et l'Oural, qui viennent ensuite, ont des centres de production beaucoup plus anciens.

[1] Au détail, on vend à Paris : le chromate de plomb ordinaire 3 fr. 50 le kg. ; le bichromate de potasse cristallisé 1,25 fr. ; l'oxyde de chrome 4,50 fr. ; l'alun de chrome 0, 90 fr.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Voici, d'ailleurs, comment se décompose la production dans ces dernières années, avec le rappel des chiffres antérieurs.

TABLEAU 14. — PRODUCTION MONDIALE DU FER CHROMÉ

PAYS PRODUCTEURS du fer chromé.	1895	1900	1906	1907	1908	1909
	t.	t.	t.	t.	t.	t.
Rhodesia	»	»	3 305	7 273	12 108	37 024
Nouvelle-Calédonie	8 000	10 474	57 367	31 552	46 890	32 136
Turquie d'Asie	21 000	»	»	25 000	12 000	»
Russie (Oural)	21 000	18 233	16 969	25 528	9 278	»
Grèce (Thessalie)	2 700	5 600	11 530	11 700	4 350	9 600
Indes	»	»	4 445	18 597	4 821	8 398
Canada	2 900	2 119	7 936	6 528	6 554	2 470
Etats-Unis (Californie)	1 600	142	322	339	284	208
Nouvelle Galles du Sud	4 300	3 338	15	30	0	0
Total approximatif	63 000	60 000	130 000	121 000	113 000	120 000

La *Rhodesia* a pris, depuis 1906, une place importante dans l'industrie du fer chromé[1].

La *Nouvelle-Calédonie* a commencé à produire du fer chromé en 1880. Elle a, comme nous le verrons, des gisements de ce minerai presque inépuisables et d'une exploitation facile, dont le seul défaut est leur éloignement considérable des centres industriels. Le fret de Nouvelle-Calédonie à Londres par Sydney est de 40 à 50 fr.. Il est, en moyenne, de 8 fr. plus cher pour le continent européen. De Nouméa à Sydney on paye environ 5 à 6 fr. Toute la production de 1909 est venue pratiquement d'une seule mine qui a vendu son minerai à 50 p. 100 : 37 fr. la tonne sur la mine ou 42 fr. à Nouméa.

En *Turquie d'Asie*, les conditions industrielles sont défavorables et les frais de transport par terre également assez élevés ; mais les gisements très multipliés.

Les centres d'exploitation sont surtout le continent lycien, en face de Rhodes et la région située au Sud de l'Olympe de Bythinie, entre 50 et 75 km. de Koutaya. Dans ce dernier district, le groupe de Tchardy (Harmandchyk) comprend la mine de Daghardy qui, à elle seule, fournit (1900) 10 à 12 000 t. de bon minerai valant 1 200 000 fr., celle de Mirankoï 3 000, celle de Kosloudcha 1 250. L'ensemble du district peut monter à 16 000 t. En ajoutant la production du district situé au Nord-Est de Rhodes, on arrive certainement à près de 25 000 t.

De 1903 à 1907, on a exporté 130 000 t. en Angleterre et aux États-Unis. Mais, en 1908, il y a eu une forte diminution en raison de la baisse des prix.

La production de l'*Oural*, alimentée par une cinquantaine de petites mines, et assez constante, a oscillé, depuis longtemps, entre 15 et 20 000 t. En 1908, elle est tombée à 9 278 t.

En *Grèce*, il a existé des exploitations, aujourd'hui épuisées, dans l'Eubée.

[1] Voir 1907, Bull. of the Imper Inst., t. 5 p. 136.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La production est surtout alimentée par les mines Apostolides en Thessalie.

Aux *Indes*, le fer chromé est surtout exploité dans le Belutchistan, où les mines de *Khanozai* ont produit 3 466 t. en 1904 et seulement 750 en 1905; celles de *Hindubagh*, 130 t. en 1904 et 814 en 1905: le tout exporté en Europe[1].

En 1904, l'ensemble de la production du Belutchistan était de 3 596 t.; il est tombé à 2 708 en 1905. Mais on est remonté un moment à 18 59 7t. en 1907, avec la mise en valeur de gisements dans le *Mysore*, pour redescendre bientôt.

Les gisements du *Canada* sont situés dans le « serpentine belt » autour de Black Lake, à l'Est de Québec. On a commencé à travailler en 1894 et produit un moment 10 000 t. en 1898 pour baisser ensuite.

La *Nouvelle-Galles du Sud*, qui produisait 5 000 t. en 1899, est tombée à rien, ainsi que *Terre-Neuve*, où, en 1897, on extrayait 3 000 t. près de la baie de Port-au-Port.

Aux *États-Unis*, la production insignifiante vient de la Californie (comté de Shasta). La consommation totale varie, suivant l'activité sidérurgique, de 40 à 60 000 t. Vers 1885-1890, on ne dépassait pas 6 à 8 000 t.

Il faut encore mentionner : les anciens gisements du *Banat*, abandonnés depuis 1876 ; ceux de *Styrie*, abandonnés depuis 1881.

Prix. — Vers 1870, un fer chromé de qualité courante à 50 p. 100 minimum de sesquioxyde, utilisable pour les produits chimiques, valait 200 fr. la tonne en Europe. En 1875-1880, le prix était de 150 à 160 fr. En 1904, le même minerai valait environ 120 fr. avec une plus-value de 2,50 fr. par tonne pour chaque unité pour cent de sesquioxyde en plus de 50 p. 100. En 1908, on payait, aux Etats-Unis, le minerai Néo-Calédonien à 50 p. 100 environ 100 à 105 fr. On est tombé à 80 fr. en 1909, par suite de la crise métallurgique.

La statistique officielle compte le minerai de Nouvelle-Calédonie sur place à 37 fr. la tonne en 1909, contre 48 fr. en 1904 et 100 fr. en 1880.

B. ROLE GÉOLOGIQUE DU CHROME. — MINERAIS

Le chrome n'a qu'un seul minerai pratique, le *fer chromé*, ou *chromite*, qui est un chromite de fer $Cr^2\ O^3$, FeO, ou plutôt $(Cr, Al)^3\ O^3$. (Fe,Mg)O, renfermant 44 à 60 p. 100 de sesquioxyde de chrome (68 dans le chromite de fer théorique). Le sesquioxyde lui-même contient 68,47 de Cr ; ce qui, pour un minerai à 50 de sesquioxyde, donne 34,23 de Cr. Cette association du chrome avec le fer et le magnésium paraît s'être toujours concentrée dans les fonds de creusets basiques, auxquels on assimile la péridotite. D'autre part, il existe plusieurs associations du chrome avec le plomb, dont les conditions de gisement, toutes différentes, accusent, au contraire, pour ce métal, un départ filonien, dans lequel l'anhydride chromique CrO^3 intervient comme acide. La principale est la crocoïse (plomb rouge), ou chromate de plomb $Cr\ O^4Pb$, dans laquelle Vauquelin découvrit d'abord le chrome en 1797. On connaît, en outre, la mélanochromite et la vauquelinite (cette dernière associant le cuivre au plomb et au chrome).

On peut rapprocher de la ségrégation du chrome en fer chromé, sa

[1] Coll. Ec. d. Mines, 1191.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

présence (toujours en milieu ultrabasique) dans diverses météorites et dans la mine de platine. Ailleurs, le chrome s'est substitué à l'aluminium (et partiellement à des bases protoxydées) en milieu acide dans toute la série des minéraux, tels que les rubis, saphirs, émeraudes, grenats, micas, etc., où il n'intervient parfois que par des traces et détermine souvent la coloration caractéristique. Nous étudierons d'abord les gisements de fer chromé et dirons quelques mots en terminant des gisements de crocoïse, qui n'ont qu'un intérêt théorique.

C. — GÉOLOGIE GÉNÉRALE DES GISEMENTS DE FER CHROMÉ

Les gisements de fer chromé, tous très analogues les uns aux autres, forment, d'une façon uniforme, des grains ou des amas (inclusions ou ségrégations) dans les serpentines : amas dont le cube total serait, d'après J. Vogt, proportionnel à celui des serpentines englobantes.

Ces serpentines, elles-mêmes, résultent de l'altération de roches à

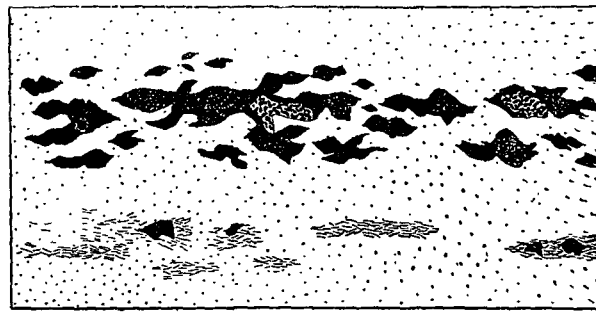


Fig. 181. — L'ensemble de la roche est composé de harzburgite. On voit : en haut, un filon de fer chromé et de roche à olivine; en bas, des filets riches en enstatite avec nids de fer chromé. Mine de Ramberg à Hestmandö, d'après J. Vogt. Longueur de la figure : 6 m.

péridot et à enstatite, où le microscope montre toujours la dissémination du chrome à l'état de fer chromé ou de picotite. Une concentration qui paraît dater de la cristallisation primitive, a rassemblé, en certains points, ces éléments de chrome en un minerai exploitable, formé, soit de grains de fer chromé cimentés par une pâte serpentineuse, soit de masses assez volumineuses du même minéral dans des conditions comparables à ce que nous verrons pour certains gîtes de magnétite[1]. Notre figure 181 montre, par exemple, d'après Vogt, au milieu d'une péridotite (harzburgite)[2], des filets parallèles où s'est rassemblé le fer chromé, et la figure 182 met en évidence la distribution du fer chromé et de l'olivine, examinée au microscope dans une roche du même gisement. Au contact des amas de fer chromé, on trouve fréquemment une grande abondance de silice opalescente et de chrysotile, qui est sans doute attribuable à une circulation d'eau assez récente, mais qui ne doit être considérée que comme l'effet d'une remise en mouvement indépendante du gîte primitif.

[1] Voir aux généralités, tome 1, page 81.. et plus loin, tome 2, page 310.
[2] Péridotite composée d'olivine et d'enstatite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Ces gisements, par leur constitution même, sont absolument limités dans tous les sens, pratiquement localisés au voisinage de la surface et restreints ; il en résulte que les exploitations sont très variables et forcées de se déplacer constamment.

Dans beaucoup de régions où il existe des zones serpentineuses importantes, on trouve des amas de fer chromé. Le fait ne saurait cependant être considéré comme général, et, pour une raison semblable à celle qui a concentré les métaux filoniens sur certains points d'élection, quelques régions offrent une richesse en chrome tout à fait spéciale. Ce sont souvent les mêmes où l'on trouve du nickel, du cobalt et, d'une façon moins constante, du cuivre ; mais on ne saurait non plus généraliser cette loi, ni chercher à établir une proportion constante entre ces divers métaux.

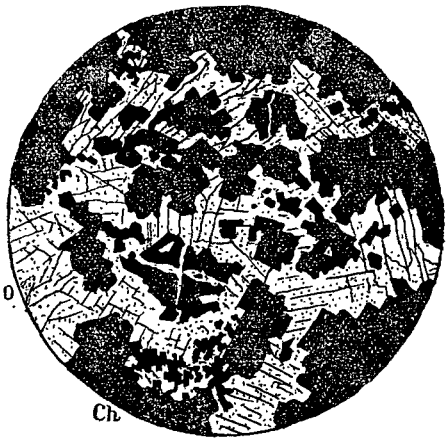


Fig. 182. — Roche à olivine riche en fer chromé de Ramberg (d'après Vogt), vue à un faible grossissement.

O, olivine ; Ch, fer chromé.

Tous les gisements de fer chromé étant analogues entre eux, nous nous contenterons d'en décrire quelques-uns dans l'ordre géographique, en commençant par ceux qui ont aujourd'hui la plus grande importance industrielle.

Il pourrait être intéressant de classer les gisements de fer chromé, avec les serpentines dont ils dérivent, d'après l'âge des roches qui les ont produits par ségrégation. Malheureusement l'âge de ces roches est souvent très mal déterminé et leur mode même de formation reste mystérieux. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce dernier point à l'occasion des nickels de Nouvelle-Calédonie ou des cuivres de Monte Catini, et de dire alors comment des phénomènes de charriage semblent souvent être intervenus dans la mise en place des serpentines. En s'en tenant aux apparences, on pourrait établir approximativement la classification suivante des gisements de fer chromé :

Cambrien. — Canada, Norvège.

Permien. — Oural, Magaliesberg.

Tertiaire. — Nouvelle-Calédonie, Banat, Eubée, Thessalie, Turquie d'Asie.

D. — GISEMENTS DE FER CHROMÉ DE LA NOUVELLE-CALEDONIE, DU CANADA, ETC.

Nouvelle-Calédonie [1]. — La description des gisements de Nouvelle-Calédonie, où s'associent le nickel, le chrome, le cobalt et le manganèse, sera donnée à l'occasion du nickel. Nous en retiendrons seulement ici le déve-

[1] Coll. Ecole des Mines, 1523, 1524, 2422, 2424, 2432, 2914 à 2927.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

loppement considérable des péridotites serpentinisées à enstatite ou bronzite, qui couvrent un tiers de la colonie, soit 600 000 hectares et qui se présentent superposées à tous les terrains sédimentaires de l'île, crétacé compris. Ces roches, qu'elles soient fraîches ou décomposées, tiennent, d'une façon générale, une quantité appréciable de fer chromé, qui s'est, dès lors, concentrée mécaniquement comme un résidu de la décomposition des péridotites, dans toutes les formations ferrugineuses d'altération, improprement appelées argiles rouges et dans les sables lourds des ruisseaux. Mais, en outre, il s'est produit, au moment de la cristallisation ignée, sur certains points de ces roches, une ségrégation donnant des amas, ou pseudo-filons, qui présentent alors, rassemblée sur un seul point, une proportion de fer chromé anormale. Quoi qu'on ait parfois soutenu le contraire, le groupement du fer chromé n'est aucunement lié à l'altération des roches, qui le met seulement en évidence. Il est à remarquer que, d'après Glasser, le fer chromé de Nouvelle-Calédonie paraît être surtout du chromite de fer pur à 68 p. 100, presque sans mélange de picotite ou de fer magnétique qui l'appauvriraient. On y remarque seulement la substitution de la magnésie au protoxyde de fer, qui tend à accroître la teneur en chrome. Il en résulte la possibilité pratique d'obtenir, par un lavage sommaire, des produits courants à 50 ou 55 p. 100 de sesquioxyde.

Pratiquement, on n'exploite guère que les minerais détritiques ou secondaires, dits « d'alluvions ». Mais il est intéressant de signaler d'abord les gisements en roches, dont ces minerais détritiques dérivent.

1° *Gisements en roches.* — Ces gisements ont souvent la forme de lentilles aplaties, comparables à des filons. On en connaît tout à fait au Nord de l'île au dôme de Tiebaghi, puis autour de Nouméa, sur la côte Est, enfin près de la baie du Sud dans la Plaine des Lacs, vers Prony.

A Tiebaghi, on exploite, sur le flanc Ouest, divers gisements détritiques, où le fer chromé et le cobalt sont abondants. Mais on voit, en outre, sur une crête de 100 m. de long, un alignement de gros blocs de fer chromé atteignant de 6 à 8 m. de large qui, vers l'Ouest, passent à des blocs ferrugineux avec paillettes de fer chromé, puis à de simples blocs ferrugineux scoriacés venant probablement de l'altération de magnétites associées en proportions variables à cette ségrégation de chromites. Sur la pente Sud de cette crête, le sol est jonché de blocs de fer chromé allant de la grosseur d'une noisette à un poids de plusieurs centaines de kg. et, sous ces blocs, un dépôt argileux. qui doit résulter du ruissellement des eaux superficielles, renferme une sorte de lit formé par des débris semblables sans doute concentrés en raison de leur forte densité. Il en résulte une exploitation remarquablement facile ; mais celle-ci est grevée de transports assez coûteux, d'abord par plan incliné aérien, puis par voie ferrée ou par chars à bœufs sur 8 km : ce qui entraîne une dépense de 6 fr. la tonne. Nous verrons que ce groupe a la principale production de la Nouvelle-Calédonie.

De même encore, à Lucky-hitt, près de Plum, où l'on a exploité pendant quelques années des minerais détritiques, l'exploitation a repris sur des affleurements de fer chromé avec silicates alumino-magnésiens, dont le triage est assez difficile et ne permet guère de dépasser une teneur de 30 à 40 p. 100.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

On retrouve enfin, au-dessus de la plaine des lacs, près de la baie du Sud, quelque chose d'analogue, à la mine Anna-Madeleine, où une crête offre de gros blocs de fer chromé, tandis qu'au pied s'est accumulé un

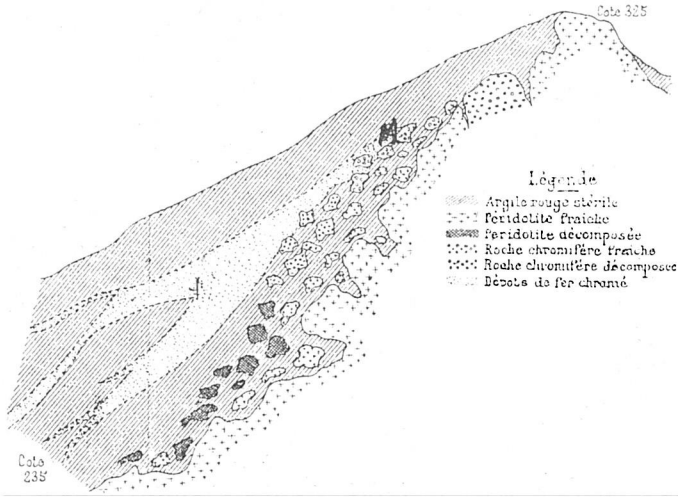


Fig. 183. — Coupe schématique du gisement de fer chromé de la mine Georges Pile, d'après Glasser. Echelle approximative 1/100e.

cordon de fragments que l'on exploite. Toute cette plaine, entourée de collines en péridotite, a un fond d'argile rouge, recouvert de grains ferrugineux qui ont été lavés et mis en saillie sur les bords des lacs.

2° *Gisements détritiques.* — Nous nous sommes déjà trouvé indiquer l'allure des gîtes détritiques de Tiebaghi et de la plaine des Lacs. Les caractères sont partout à peu près les mêmes : altération sur place de péridotite chromifère, éboulis, ruissellement, concentration mécanique et continuation de l'altération donnant finalement des grains, traînées ou amas de fer chromé, répartis d'une manière ou d'une autre dans la formation ferrugineuse qualifiée d'argile rouge.

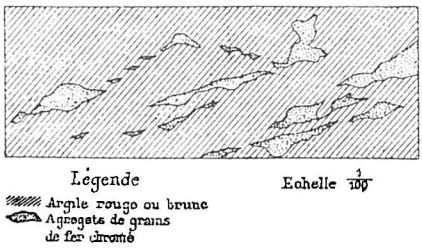


Fig. 184. — Croquis d'un front de taille de la partie supérieure de l'exploitation de la mine de fer chromé Alice-Louise, d'après Glasser.

Sur la rivière Ngo, à la mine 14 Juillet, on a exploité, au milieu des argiles rouges, une sorte de banc irrégulier de chrome « d'alluvions », d'une cinquantaine de mètres de longueur et d'une largeur maxima de 40 m., constitué par des fragments de fer chromé juxtaposés presque sans intercalation d'éléments étrangers.

Enfin, à la mine Georges Pile, on a eu, le long d'une colline, les conditions représentées par la figure 183 : en haut, une tête de roche chro-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

minère en place ; puis des blocs à peine décomposés et légèrement friables de la même roche recouverts par de l'argile rouge stérile ; plus bas, des blocs assez altérés pour que le fer chromé s'en sépare par lavage ; puis, dans l'argile rouge, une traînée très riche en grains de fer chromé sur 1 m. d'épaisseur qui, en descendant encore, s'effile, se bifurque et se perd en amas de moins en moins riches.

Le gisement, particulièrement important, de la mine Alice-Louise, sur la rivière des Pirogues (fig. 184), a pu être exploité en carrière jusqu'à 22 m. de profondeur et a livré plus de 30 000 t. de minerai à 50 p. 100. Le sol est formé d'argile rouge, semée souvent de grains ferrugineux. Quand on s'enfonce, on trouve d'abord des poches isolées de minerai en gros fragments ; puis, toujours dans l'argile, une couche de grains noirs ferrugineux et manganésifères ; puis des traînées de grains de fer chromé représentées par notre figure sur 2 ou 3 m. de haut. A la base, on a enfin des argiles bigarrées produites par la décomposition sur place de blocs serpentineux ; argiles, entre lesquelles se développent et se ramifient irrégulièrement des grains et amas assez rapprochés pour qu'on ait encore intérêt à abattre toute la masse.

Industrie. — Toutes les exploitations de fer chromé de la Nouvelle-Calédonie se font en carrières à ciel ouvert. Leur production s'est décomposée de la manière suivante en 1901 : année où elle atteignait 17 649 t.

Bassin de la rivière des Pirogues.	8 533
Baie Ngo (2 exploitations)	4 600
Dôme de Tiebaghi (2 exploitations).	2 450
Groupe de la rivière de Pourina (2 exploitations) . .	1 284
Cap Goulvain, Baie Ouié, etc.	782
	17 649

En 1907, la principale mine était celle de Tiebaghi, à minerai remarquablement riche atteignant 57 p. 100, dont on estimait la capacité de production à 60 000 t. La mine Lucky Hitt, à 20 km. Sud de Nouméa, venait ensuite, avec une capacité de 12 000 t., à teneur plus faible de 30 à 40 p. 100.

Canada. — Le Canada, qui est le grand concurrent de la Nouvelle-Calédonie pour le nickel et pour le cobalt, commence aussi, depuis quelques années, à produire, en quantités assez fortes, le métal qui, en Nouvelle-Calédonie, s'associe au nickel et au cobalt : à savoir le chrome.

La région chromifère, connue sous le nom de Serpentine belt, est à l'Est de Québec près de Coleraine, autour de Black Lake, desservie par le Quebec central Railway. Les exploitations ont commencé en 1898 ; elles sont montées à 8 000 t. en 1906 pour retomber à 1 627 en 1909. Les minerais sont exportés aux Etats-Unis comme « crus », sans concentration préalable, avec 45 minimum de sesquioxyde, ou comme concentrés.

Le fer chromé est là, comme partout dans le monde, en relation directe avec une péridotite serpentinisée, que l'on décrit comme intrusive

[1] *The mineral Industry during* 1907. STRANGWAYS. *Chrome Iron mining and milling in Canada*, p. 173 à 177. — Coll. Ec. d. M., 2851 (Lac Noir, Canada).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

dans des sédiments probablement cambriens. Les géologues américains admettent que la ségrégation, dont résulte la concentration du fer chromé, s'est faite de préférence vers les contacts de cette péridotite avec le cambrien encaissant. La même région produit également de l'asbeste, et le principal exploitant est le Black Lake Chrome Asbestos Cy. L'une des exploitations se fait par un plan incliné de 90 m. de profondeur.

États-Unis. — Sur l'immense territoire des Etats-Unis, la Californie seule a produit du fer chromé, venant surtout des comtés de Shasta, Alameda, Placer et San-Luis-Obispo. San-Luis-Obispo et Alameda, qui ont été des centres d'exploitations importants, sont arrêtés. Mais des gisements sont encore travaillés dans le comté de Shasta. Les minerais sont connus en Europe comme minerais de Baltimore ; les échantillons qu'on en trouve dans les collections contiennent, associés, du fer chromé, du chrysotile et de l'opale[1].

Styrie, Banat, Bosnie, etc. — Les gisements de fer chromé sont peu importants en Europe. Il est notamment à remarquer leur absence ordinaire sur la grande zone des roches vertes qui suit les Apennins, les Alpes et les Dinarides.

On en connaît cependant un exemple à *Kraubath* (Styrie), au S.-E. de Leoben dans des dunites serpentinisées (harzburgites) formant une masse intrusive qui repose en discordance sur des gneiss à hornblende. Le fer chromé apparaît même dans la roche fraîche[2].

De même à *Silberberg* en Silésie[3].

Dans la province d'*Orsova* (Banat)[4], la serpentine, qui traverse les calcaires crétacés, contient un certain nombre d'amas de fer chromé d'au plus 3 à 400 m. de longueur, toujours coincés en profondeur (on n'est descendu qu'une fois à 100 m.). Ces amas ont une direction générale NW, parallèle à celle de la bande même de serpentine. En outre, des cristaux de fer chromé sont disséminés dans la serpentine.

Les minerais, toujours mélangés avec des argiles magnésiennes, avaient une teneur moyenne de 38 à 50 p. 100 de sesquioxyde de chrome. On les a exploités, de 1857 à 1876, sur une faible échelle.

En *Bosnie*, à Dubostica, près Vares[5], le fer chromé est en nids disséminés dans une péridotite serpentinisée.

Eubée, Thessalie[6]. — L'Eubée comprend : dans le Sud, une série primaire, semblable à celle du Laurion, avec schistes à glaucophane, micaschistes, calcaires cristallins, etc. ; dans le Nord, du crétacé, du flysch

[1] Coll. Ecole des mines, 1936 (Shasta, Californie) ; 1189 (Baltimore, Maryland).

[2] 1900. Fr. Ryba (Z. f. pr. G. nov., avec bibl. ant.). — 1906. L. De Launay. *Métallog. de l'Italie*, p. 21. — Beck. *Loc. cit.*, p. 61 et bibl.

[3] Kossmann. *Neuere Aufschlüsse über das Vorkommen der Chromeisenerze in Niederschlesien* (65ter J. Beri. der Schl. Ges. f. Vaterl. Cult. Breslau). — Cf. d'Achiardi, t. 2, p. 385

[4] 1873. *Beschreibung des Chrombergbaues Hoffmann im Stuhlbezirke von Alt-Orsova* (Wien).

[5] 1903. Katzer. *Geol. Führer durch Bosnien*, p. 26. — 1904. Baumgartel. *Das Nebengestein der Chromeisenerzl. bei Dubostica* (Tscherm. Mitt., t. 23, p. 393).

[6] Coll. Ecole des Mines. 2428 ; 1192 (Skyros).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et des serpentines ; enfin quelques couches pontiennes et levantines, auxquelles sont subordonnés des lignites à Kymi. On y a reconnu, en relation avec les serpentines éocènes, des amas de fer chromé, sur lesquels on a travaillé un moment et des minerais de fer inutilisés, à 1 p. 100 de chrome, dont on retrouve l'équivalent, d'un côté à Skyros, de l'autre en Locride.

Actuellement on exploite, avec quelque activité, des fers chromés dans des serpentines en Thessalie.

Turquie d'Asie[1]. — La Turquie d'Asie fournit une assez forte proportion de fer chromé, qui n'est l'objet d'aucune statistique précise.

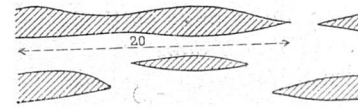


Fig. 185. — Plan théorique des amas de fer chromé de Tchardy (Kosloudcha), d'après Weiss.

Les principaux gisements, situés dans les serpentines tertiaires, se trouvent sur le versant Sud de l'Olympe de Bithynie (non loin de Brousse).

La région chromifère de l'Olympe de Bithynie commence à Tchardy et se prolonge vers le S.-W., dans le Tchataja-Dagh, au Sud de Kremasti.

A *Tchardy* (Harmandchyk), (figures 185 et 186) on a des schistes N.-E. recouverts par des calcaires tertiaires : schistes, dans lesquels s'intercalent des masses serpentineuses de 15 ou 20 km. de large. Au milieu de

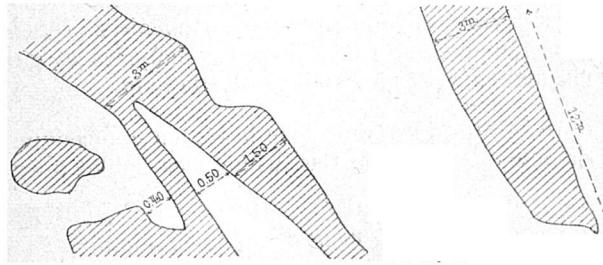


Fig. 186. — Plan de détail à Mirankoï (Tchardy). Coupe verticale à Kosloudcha. (Le fer chromé a été couvert de hachures.)

ces serpentines, les amas de fer chromé forment des lentilles irrégulières, généralement allongées dans le même sens pour une région donnée : lentilles, dont la largeur moyenne est au plus de 2 ou 3 m., la longueur pouvant atteindre 30 m. et la profondeur à peu près autant. Souvent une masse principale est accompagnée, sur son bord, de petites lentilles secondaires. Une masse plus développée à Daghardy avait 70 m. de long, 25 de large et 20 de haut. Ces lentilles ont un plongement variable, qui rappelle celui des schistes encaissant la serpentine et qui peut atteindre la verticale.

Les amas sont, suivant les points, non seulement de taille inégale,

[1] 1910. L. De Launay. *Rich. min. de l'Asie*, p. 630 et 638. — Coll. Ec. d. M., 2489 (Rhodes).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mais aussi de teneur très variable en fer chromé, pouvant arriver jusqu'à 50-56 d'oxyde de chrome. Leur dureté inégale et les facilités plus ou moins grandes d'abatage influent beaucoup sur leur valeur.

Plus au Sud-Ouest, j'ai signalé autrefois de telles serpentines chromifères à *Metelin*[1]. Ces serpentines dérivent là très directement de belles péridotites qui occupent les deux flancs d'un anticlinal de schistes métamorphiques et qui s'annoncent déjà par des veinules amphiboliques plus ou moins serpentinisées dans la partie supérieure de ceux-ci. On y trouve quelques amas de fer chromé avec opale et chrysotile.

La même traînée se retrouve en Troade, dans la région du Scamandre.

Vers le Sud, une zone de plissements post-éocènes Nord-Est (Dinarides), qui semble partir de Rhodes pour aboutir sur la côte de Lycie et à laquelle se substituent, sur le continent, des plis tauriques dirigés Nord-Ouest, renferme de nombreuses serpentines, parfois avec fer chromé[2].

Ces serpentines de la côte Lycienne semblent recouper très nettement, comme de véritables roches éruptives, des calcaires crétacés et éocènes. Tchihatcheff a observé souvent, à leur contact, le métamorphisme des calcaires éocènes. Plus dans l'intérieur, près de la ville de Khorzoum (antique Cybira), des roches analogues renferment de grandes quantités de fer oxydé, qui paraissent avoir fourni dans l'antiquité les fers très renommés de cette région. Les exploitations de fer chromé s'y trouvent surtout au voisinage du golfe de *Makri*, un peu aussi dans l'île de Rhodes.

A *Rhodes*, j'ai pu voir des serpentines associées à des dépôts éocènes du flysch, qui recouvrent en concordance les calcaires crétacés et, dans ces serpentines, auxquelles s'associent des diabases et gabbros, des amas de fer chromé exploités à Apollonia et Platania.

Caucase. — Au Nord, en arrivant dans la région caucasique, on trouve à Lenkoran, dans les bords de la Caspienne, des sables à fer chromé et magnétite.

Oural[3]. — On exploite, dans l'Oural, un certain nombre d'amas et de filons de fer chromé dans la serpentine, parfois associés à de la magnétite. Les affleurements des amas ont rarement plus de 20 m. de large; les filons plus de 40 m. de long avec 6 m. de puissance. On n'a jamais exploité au-dessous de 20 m. de profondeur.

Ces gisements se trouvent sur le versant Est de l'Oural qui est le versant métallifère de la chaîne. Ils commencent, au Nord, dans le district de Goroblagodatsk et traversent le district minier de Nijni-Taguilsk. Les

[1] *Etudes géologiques sur la Mer Egée* (Dunod 1898) et *Description géologique des îles de Mételin et de Thasos* (Arch. des Missions Sc. de 1889).

[2] 1910. L. De Launay. *Rich. min. de l'Asie*, p. 638 et bibl.

[3] Voir : Rose. *Reise nach dem Ural.*, t. 3, p. 157. — 1859. Eremeew. (Journal des mines, p. 334). — 1860. Antipow (Journal des mines, p. 25). — 1872. Dresdow (Journal des mines, p. 415). — 1874. Lohtine. (Journal des mines (liste des gisements), p. 315). — 1877. Mouchketow. *Matér. pour l'étude de la structure géol. du district de Slatoust* (Saint-Pétersbourg), p. 44 71, 83, 102, 108, 111, 112. — 1878. *Richesses minérales de la Russie d'Europe*, p. 106. — 1910. L. De Launay. *Richesses minérales de l'Asie*, p. 545. — Coll. Ec. d. M., 1190.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

minerais ont, dans les parties exploitées, une teneur moyenne de 50 p. 100 d'oxyde de chrome, le reste de la masse étant formé de serpentine et de magnétite.

Les frais d'abatage sont très minimes ; mais le transport est coûteux, en sorte qu'au-dessous de 30 à 40 p. 100 d'oxyde de chrome le minerai n'est pas exploitable.

On peut encore signaler, à titre minéralogique, les kosvites de Troitsk, sortes de granites basiques, qui renferment des ségrégations de magnétite et de fer chromé. Ces dernières ne dépassent pas quelques kilogrammes.

Norvège[1]. — On connaît particulièrement bien, par les travaux de Vogt, les gisements de fer chromé norvégiens, d'ailleurs fort peu importants industriellement. Ce géologue, en étudiant 40 gisements de ce pays, est arrivé à la conclusion que l'importance des amas métallifères est proportionnelle à la masse des magmas éruptifs qui les renferment. Il serait sans doute inexact de vouloir généraliser cette observation en l'étendant à toutes les péridotites du globe.

Dans l'île d'*Hestmandö*, sur le cercle polaire, on a, dans les gneiss, une douzaine de massifs d'une péridotite à olivine et à enstatite (dunite, saxonite). Le fer chromé y forme des zones de lentilles qui, sur leur bord, passent par des transitions à la roche normale. On peut voir au microscope la chromite, à forme cristalline bien nette, englobée par l'olivine qui a donc cristallisé ici postérieurement.

Afrique.[2] — On a signalé en Afrique peu de gisements de fer chromé mais toujours dans les mêmes conditions très générales : avec des lherzolithes près de Collo en Algérie, avec des norites dans la région transvaalienne.

Les gisements du Magaliesberg au Transvaal, trop pauvres pour être utilisables, sont encaissés dans une roche de pyroxène rhombique (enstatite) et d'anorthite où, se sont isolés, non pas des grains de fer chromé pur, mais un mélange isomorphe de ce fer chromé avec un spinelle ferrifère. L'ordre de consolidation a été : 1° chromite; 2° enstatite; 3° anorthite. Ces lentilles chromifères semblent s'être isolées en lentilles allongées quasi filoniennes à la façon des ilménites dans la norite d'Ekersund.

Les minerais de la Rhodésia ont pris, depuis 1906, beaucoup d'importance.

E. — GISEMENTS DE CROCOÏSE

La crocoïse représente, pour le chrome, la forme des gisements hydrothermaux, qui vient assez rarement s'ajouter, pour ce métal, au type ordinaire des ségrégations en milieu basique. Le gisement le plus remarquable de crocoïse est celui de *Bérézovsk* dans l'Oural, qui sera ultérieurement décrit pour l'or[3]. Nous verrons alors qu'il s'intercale là, au milieu

[1] 1894. Vogt. *Zur Classification der Erzvorkommen* (Z. f. pr. G., p. 384).

[2] 1908. Hall et Humphrey. *On the occurrence of chromite, etc.* (Trans. geol. Soc. S. A., t. 11, p. 69-77). — Coll. Ec. d. M., 1384 (Euch-El-Bez. Constantine).

[3] Coll. Ec. d. M., 1717.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de schistes, de longues veines de granulite pyriteuse, dans lesquelles se sont isolés de nombreux petits filons de quartz, pour la plupart transversaux, où l'on trouve l'or, en pyrite aurifère, avec de la chalcopyrite, des sels de bismuth, de la tourmaline chromifère : c'est dire, en résumé, un groupement analogue à celui des filons stanno-cuprifères et, dans cet ensemble, de la crocoïse avec de la galène.

Les conditions sont analogues en Afrique Australe. Au *Transvaal,* on a trouvé, à la Transvaal-silver Mine, dans le district de Lydenburg, la même association de galène et crocoïse, ici avec des produits d'altération de la chalcopyrite antimonieuse (cuivre gris et sidérose). On trouve également de la crocoïse aux gîtes d'étain du *Swaziland :* par conséquent, dans le groupe métallogénique où elle existe à Berezovsk.

La formation de la crocoïse s'explique assez facilement par l'intervention d'un acide chlorochromique gazeux, qui est immédiatement décomposé par la vapeur d'eau.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXXVII

FER

Fe = 55.85

PREMIÈRE PARTIE

INDUSTRIE ET STATISTIQUE

A. — USAGES. INDUSTRIE ET COMMERCE

Usages [1]. — Le fer joue, dans le monde moderne, un rôle industriel, sur l'importance duquel il est inutile d'insister. Cette importance, qui tient à certaines qualités de ce métal, correspond, en même temps, à sa grande diffusion dans l'écorce terrestre. Elle n'a cependant pas existé de tout temps. Dans les premières civilisations, le fer, sans être resté aussi longtemps inconnu qu'on l'a affirmé d'ordinaire, formait un objet de luxe. Avant le XIX^e^ siècle, les emplois de ce métal, malgré son importance pratique en outils, armes, etc., n'atteignaient encore que des chiffres de consommation restreints. C'est surtout dans la seconde moitié du XIX^e^ siècle que l'usage du fer a pris son prodigieux essor, comme caractéristique de la forme de civilisation qui s'est développée à ce moment. Nous envisageons difficilement aujourd'hui qu'il puisse jamais déchoir de ce premier rang, chaque jour accentué. L'hypothèse ne doit cependant pas être considérée comme absurde dans un avenir lointain.

Ce métal, à la différence de ceux que nous avons précédemment étudiés, n'a pour ainsi dire pas de débouché sous la forme de combinaisons. On songe à peine à parler des petites applications que peuvent présenter son chlorure, ses sulfates (réduction par le sulfate ferreux, désinfection), son ferrocyanure (bleu de Prusse), etc. [2]. Les emplois du fer le prennent, soit très rarement à l'état pur, soit d'ordinaire à l'état d'alliages ou associations avec de faibles quantités de carbone, silicium, nickel, chrome, aluminium, manganèse, tungstène, vanadium, molybdène, alu-

[1] Voir, comme ouvrages rétrospectifs : 1878. PESCHAR. *La houille et le fer dans tous les pays du monde*, — 1879. LAN. *La métallurgie à l'Exposition de 1878* (Ann. d. M., t. 15. p. 529). — Comme travaux récents : 1905. VON JÜPTNER. *Eléments de sidérologie* (trad. fr. en 3 vol., Béranger). — Collection de la *Revue de Métallurgie*, etc.

[2] Comme composé ferrugineux très accessoire, signalons seulement les *ocres*. Les ocres jaunes sont des argiles riches en limonites finement divisée, dont la calcination donne les ocres rouges. — Voir plus loin, une étude sur ces substances.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

minium, etc. On sait que, de ces alliages, ceux où entre le carbone et qui constituent la fonte et l'acier, sont classiques; les autres, plus récemment étudiés et chaque jour développés, constituent ce qu'on appelle les aciers spéciaux.

Les propriétés spéciales du fer motivent et limitent ses emplois.

C'est un métal très tenace (un fil de 2 mm. ne se rompt que sous un poids de 250 kg). Il est ductible et malléable. Il possède la faculté précieuse de pouvoir se souder à lui-même, ce qui est un de ses principaux avantages. S'il fallait l'employer pur, son point de fusion très élevé serait une gêne; mais, en lui ajoutant un peu de carbone, on diminue notablement ce point de fusion de 1 600 à 1 800° pour le fer, à 1 100° pour la fonte blanche, 1 275° pour la fonte grise, 1 300° à 1 400° pour l'acier : ce qui permet de le mouler et de le couler. Enfin, soit en le trempant dans des conditions variables, soit en y introduisant des traces de divers corps, on peut à volonté augmenter sa dureté et son élasticité.

Son plus grave défaut est de s'altérer, de se rouiller facilement sous l'action de l'air humide ou de divers agents chimiques : d'où la nécessité de ne pas le laisser à nu, soit qu'on l'enduise simplement de peinture au minium, soit qu'on le recouvre par galvanoplastie de zinc, nickel, étain, etc. Il faut ajouter que des chocs réitérés, un brusque refroidissement, etc., peuvent, en amenant la cristallisation du fer, le rendre cassant. Toutes ces particularités, autrefois abandonnées à l'empirisme, sont aujourd'hui l'objet d'une étude constante par les procédés micrographiques, combinés avec les essais mécaniques et l'analyse chimique; il en est résulté toute une science spéciale, arrivée déjà à une grande précision[1].

Les grands emplois du fer, que nous ne saurions songer à exposer ici, sont, avant tout, les rails de chemin de fer, la construction, les ponts métalliques, les navires, les machines, l'armement, etc.

Très accessoirement, les propriétés magnétiques du fer, que des traces de carbone ou d'hydrogène rendent permanentes, le font employer comme électro-aimant.

Les applications du fer, dont le chiffre augmente d'année en année avec une rapidité remarquable, sont alimentées par les divers pays producteurs dans des conditions qui seront examinées tout à l'heure.

Si l'on se reporte à une centaine d'années, on voit que l'augmentation colossale de la production a été favorisée par une baisse de prix dont peu d'autres métaux fournissent l'équivalent. Tandis que la houille a un peu augmenté au cours du XIXe siècle, le fer en barres est tombé de 400 à 170 francs la tonne. Malgré cette valeur très supérieure il y a cent ans, on ne produisait alors dans le monde, au début du XIXe siècle, que pour 300 millions de francs de fer et de fonte par an, tandis qu'on atteint aujourd'hui, en matières brutes, au moins 10 milliards. A cette époque, le grand producteur de fer était la Grande-Bretagne (250 000 t. sur 700 000). Les Etats-Unis produisaient au total 24 000 t. (mille fois moins qu'aujourd'hui).

Sans remonter si loin, on constate, à intervalles très rapprochés, des

[1] Voir notamment : 1911. P. Goerens. *Introd. à la métallographie microscopique* (Hermann). — Revillon. *La métallographie microscopique* (Gauthier-Villars), etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

modifications profondes dans l'industrie des minerais de fer : modifications tenant aux conditions vraiment spéciales, dans lesquelles se présentent les minerais de cette substance. Nous examinerons bientôt en détail la géologie du fer. Il est utile de résumer auparavant les considérations industrielles qui déterminent et font varier, avec les époques, les minerais de fer et, par suite, les gisements de ce métal. C'est, en effet, la demande des consommateurs qui provoque l'offre et la production de telle ou telle qualité de minerais.

Minerais et gisements de fer industriels. — Le fer existe partout dans l'écorce terrestre dont la teneur moyenne en fer est, comme nous l'avons vu[1], de près de 5 p. 100. Il suffirait donc de ramasser au hasard un caillou dans les champs pour avoir chance d'y trouver 5 p. 100 de fer. Dès lors, pour qu'une substance soit réputée minerai de fer et exploitable, il faut que sa teneur en fer, ses qualités de fusion, la nature de ses impuretés, ses conditions d'exploitation, sa situation géographique offrent des avantages tout à fait spéciaux. On a quelquefois exprimé la crainte que les minerais de fer viennent à manquer. S'il est un métal dont les minerais ne manqueront jamais, d'une façon absolue, c'est bien celui-là[2] : la seule chose qui puisse faire défaut, ce sont les minerais riches et économiques dont nous avons l'habitude de nous servir. Lorsqu'on examine l'avenir de certains pays neufs, aujourd'hui sans mines de fer exploitées, où l'industrie du fer peut se créer un jour ou l'autre, on se rend compte, que, pour beaucoup d'entre eux, les minerais existent, prêts à être extraits le jour où l'industrie en aura besoin. Il arrive seulement que, suivant les changements de la métallurgie, les transformations de l'industrie houillère et l'épuisement des gîtes ferrifères connus, l'industrie sidérurgique se déplace en obéissant à une évolution dont il va être dit quelques mots.

Par suite du choix que l'on est à même de faire entre les nombreux minéraux dans la composition desquels il entre du fer, on ne considère pratiquement comme minerais industriels que les oxydes ou, secondairement les carbonates. Les sulfures peuvent, en outre, très indirectement et en petite quantité, devenir, eux aussi, des minerais à la suite d'un grillage (destiné à en extraire le soufre ou le cuivre), qui les a transformés en peroxydes.

Nous donnons ci-joint quelques exemples pratiques des teneurs que présentent divers minerais marchands principaux :

TABLEAU 15. — TENEURS EN FER DES PRINCIPAUX MINERAIS INDUSTRIELS

Minerais à Bessemer.		*Minerais pour fonte Thomas.*	
Dannemora (Suède)	53-60	Kirunavara (Laponie).	60 p. 100
Ile d'Elbe	60-62	Clinton (N. Y.)	45 —
Bilbao (Espagne).	54-60	Briey (Lorraine) . . .	38-40 —
Lac supérieur (Etats-Unis) .	60-64	Nucic (Bohême)	37 —
Krivoï-rog (Russie).	50-70		

[1] Tome 1, page 27.

[2] Le fer industriellement extrait ne revient que pour une faible partie après usage à la métallurgie. Le reste se disperse en rouille et poussière, qui persiste sans doute sur la superficie terrestre, mais à un état inutilisable.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Indépendamment de la teneur, qui est le facteur auquel on songe tout d'abord, on a, suivant les époques, attaché une importance variable à certains autres éléments du problème et il en est résulté, pour les gisements de fer utilisés, une évolution historique, dont nous commencerons par dire quelques mots [1].

Pendant longtemps, ce qu'on a surtout demandé aux minerais de fer, c'était la fusibilité. Longtemps après que l'on eût appris à obtenir le fer en quantités relativement considérables au bas-foyer, cette préférence accordée aux minerais fusibles, généralement disséminés en gisements superficiels, a déterminé la dispersion des extractions ferrifères sur une foule de petits gisements sans continuité profonde, notamment quand ils étaient à proximité de forêts fournissant le combustible, ou de forces motrices hydrauliques utilisées pour la soufflerie. Suivant les pays, cette phase primitive a persisté plus ou moins longtemps, jusqu'au moment où la grande industrie lui a fait concurrence. Nous assistons encore à sa disparition en Asie et en Afrique.

Une ère toute différente a commencé vers 1860, avec la révolution causée par le développement du Bessemer (découvert en 1853). On s'est alors jeté sur les minerais très riches et très purs, surtout très exempts de phosphore, que nécessitait ce mode de traitement, en attribuant une valeur particulière à ceux qui contenaient en même temps du manganèse. C'est l'époque de ce qu'on a appelé les minerais à acier, dont les types se trouvaient à Bilbao, dans les Pyrénées, dans le Cumberland, en Suède, en Carinthie, à l'île d'Elbe, à Mokta-el-hadid, etc. La plupart de ces minerais étaient, comme nous le verrons, en rapport avec des altérations d'affleurements filoniens, ou avec des cristallisations de métamorphisme dans les terrains anciens. Les sédiments proprement dits, souvent phosphoreux, étaient alors généralement dédaignés.

Mais ces minerais riches et purs à 60-65 de fer ont assez rapidement accusé une tendance à se raréfier; et, tout en continuant à leur attribuer une valeur supérieure, on est, depuis la découverte de la déphosphoration Thomas, devenu moins difficile pour des minerais phosphoreux qui, depuis 1878, ont commencé à prendre une part croissante dans l'industrie sidérurgique. Les acheteurs de minerais distinguent ainsi trois catégories principales de minerais : les minerais pour Bessemer, dont la teneur en phosphore ne doit pas dépasser 0,05 p. 100 et, pour certains cas, 0,01, et, d'autre part, les minerais pour fonte Thomas tenant de préférence au minimum 0,8 p. 100 de phosphore; enfin toute la catégorie des minerais intermédiaires.

D'autres distinctions s'établissent suivant la teneur en silice ou en alumine et l'on continue à proscrire d'assez grandes masses de minerais dépréciés par leur teneur en titane ou en arsenic. Mais, d'une façon générale, on peut dire qu'avec les progrès de la métallurgie et avec la difficulté croissante d'obtenir à bon compte des minerais riches et purs, les métallurgistes sont amenés à devenir moins exigeants : par exemple, pour les minerais alumineux.

Les minerais siliceux, même à teneur moyenne, trouvent également

[1] Voir : 1908. L. De Launay. *La conquête minérale*. p. 23.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

une application quand on peut se procurer, en même temps, des minerais calcaires pour faire des mélanges dans le lit de fusion.

Enfin les procédés de séparation magnétique et briquetage entrent de plus en plus en vigueur pour traiter de grandes masses de minerai pauvres, telles que les minerais norvégiens non phosphoreux du Dunderland, du Sydvaranger, du Salangen.

On peut, d'autre part, remarquer aussitôt que, l'abondance du fer permettant le choix entre les gisements, on s'est tout naturellement attaqué de préférence à ceux qui présentent le minerai par grandes masses, d'une attaque facile et susceptibles d'une exploitation intensive avec application des engins mécaniques. On exploite de la sorte, ou de gros amas de ségrégation pouvant occuper à la surface des montagnes entières, ou bien des chapeaux de filons, et, de préférence, ceux qui se sont trouvés enrichis, élargis en amas par leur contact superficiel avec des calcaires, ou enfin et surtout des couches stratifiées et amas stratiformes.

La proximité de la mer ou d'un bassin houiller a, jusqu'ici, beaucoup influé sur l'exploitabilité des gisements. Il est probable que les procédés électro-métallurgiques, encore tout à fait à leur début, amèneront une certaine transformation à cet égard et permettront d'utiliser les gisements de certaines régions montagneuses en donnant une valeur à des catégories de minerais et de gisements actuellement négligés.

Commerce des minerais de fer. — Les transports — et, par conséquent, les achats et ventes — sont fréquents pour les minerais de fer, que l'on tend souvent à rapprocher des centres houillers et des consommateurs quand on veut créer une grande industrie sidérurgique.

Sans doute il existe, sur divers centres ferrifères de premier ordre, comme la Lorraine, le Cumberland, le Lac Supérieur, la Suède centrale, etc , des hauts fourneaux ou même des aciéries. Mais la plupart des usines à fer sont amenées à acheter au moins une partie de leurs minerais pour faire les mélanges destinés à leurs lits de fusion[1]. Beaucoup de grands centres miniers comme Kirunavara, Bilbao, les mines d'Algérie, etc., vivent ainsi exclusivement d'exportations et l'on prévoit que l'exportation jouera un rôle croissant dans notre industrie extractive de Lorraine, qui vend déjà plus de 3 000 000 t. par an à l'étranger.

Les minerais de fer, ayant une valeur relativement faible, ne peuvent généralement pas supporter un très long transport par rails. Cependant certains gisements, particulièrement favorisés à d'autres égards, peuvent être exploités pour l'exportation jusqu'à 2 et 300 km. des côtes. Nous citerons, par exemple, le gite de Kirunavara en Laponie suédoise situé à 283 km du port de Narvik et 315 de Luleă. Les transports par mer, beaucoup moins coûteux, permettent des distances considérables. C'est ainsi que les minerais de Bilbao atteignent toutes les grandes aciéries d'Angleterre, de Belgique, d'Allemagne.

La Suède exporte 80 p. 100 de ses minerais de fer. 2 500 000 à 3 000 000 t. vont en Allemagne dans le bassin de la Ruhr et jusqu'en Silésie. 400 à

[1] On peut citer, parmi les grands marchands de minerais de fer qui servent d'intermédiaire entre les mines et les usines, la maison Müller de Rotterdam.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

450 000 t. vont en Angleterre et les Etats-Unis achètent déjà (1909), 121 000 t.

Les achats de minerais de fer se font généralement, pour chaque qualité déterminée, à un prix de..., avec une échelle par unité de fer pour les faibles variations de teneur en plus ou en moins : échelle ne s'appliquant plus au delà de certaines limites.

Ainsi un minerai phosphoreux suédois[1] à 60 p. 100 et 1 p. 100 de phosphore vaudra environ 23 fr. avec 0,66 fr. par unité. A 40 p. 100, on ne compte plus que 0,25 fr. A 35 p. 100 (teneur moyenne du minerai lorrain), ce sera 0,20 à 0,25. Les minerais de Lorraine à 30 ou 32 p. 100 trouvent déjà difficilement preneur[2] ; ils n'ont pas leur utilisation sur place. La différence avec un minerai à 35 p. 100 est d'environ 2 fr. Enfin les minerais à 28 ou 30 p. 100 ne se vendent plus que 3 fr. la tonne dans le Luxembourg, à titre de castine ferrugineuse.

Dans le bassin de Briey, on tient presque autant de compte de la chaux que du fer.

En principe, pour calculer la valeur d'un minerai de fer, on est amené à utiliser la formule de son lit de fusion. Il existe diverses formules de ce genre. Par exemple, on admet parfois $SiO^2 + Al^2O^3 = CaO$; avec $CaO = 1{,}5\,SiO^2$: d'où $Al^2O^3 = 0{,}5\,SiO^2$, ce qui amène à calculer le poids de castine et le poids de laitier.

On calcule alors 550 calories pour la fusion du laitier et 3 200 pour l'expulsion de l'acide carbonique et, en divisant le total des calories par 4 200, on détermine la quantité de carbone nécessaire, qui est elle-même les $\frac{8}{10}$ du coke.

On peut encore écrire : coke $= 910 + 0{,}3\,L$ (L étant le laitier par tonne de fonte) ou encore : coke $= \frac{A}{\rho}$, A étant une constante (égale à 336 en fonte Thomas) et ρ le rendement du lit de fusion.

Pratiquement, quand il s'agit d'un minerai bien homogène, comme le sont généralement la « minette lorraine » d'une provenance déterminée ou le minerai type de Laponie, on fait des marchés importants à un prix fixe, calculé d'après la teneur normale de la région[2], au besoin avec échelle variable suivant le cours des fontes.

B. — STATISTIQUE DU FER[3]

Nous avons rappelé plus haut qu'au début du XIX^e^ siècle on produisait à peine 800 000 t. de fonte par an.

En 1850, on était à 4 800 000 t. ; en 1871, à 12 900 000 t. ; en 1891, à

[1] Le minerai de Kirunavara à 60 p. 100 de fer et 1 p. 100 de phosphore, se vend, rendu en Silésie, environ 30 fr., après avoir coûté au total, exploitation et transport : 8,50 fr. jusqu'à Narvik, 7,50 fr. de Narvik à Stettin et 10 fr. de Stettin à Beuthen (soit 26 fr.). — Pour l'Angleterre, le fret de Narvik à Middlesborough est d'environ 5 fr. 50. Les prix de vente à Middlesborough ont varié de 25 à 30 fr. en 1909 et 1910.

[2] La plupart des ventes de minerais lorrains sont centralisées par le comptoir de Nancy.

[3] J'ai donné, au Congrès géologique de Stockholm en 1910, une note sur la question du fer. — Voir (*Les Réserves mondiales en minerais de fer* (Ann. de Géogr., mars 1912).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

26 200 000 t. En 1900, on a atteint 39 599 000 t. de fonte. En 1907, on a dépassé 60 000 000 t. de fonte, correspondant à 51 273 000 d'acier. C'est une loi d'accroissement formidable de 50 p. 100 en sept ans, qui, il est vrai, avec la crise américaine de 1908, a été suivie d'un brusque recul, ramenant, en 1908, le total de la fonte à 48 641 000 t. Mais la marche ascendante a déjà repris. En 1909, on a de nouveau dépassé 60 000 000 t., en 1910, 65 000 000 t., et, avec l'entrée en jeu prochaine de continents entiers successivement appelés à adopter notre forme de civilisation, elle doit, sans doute, se poursuivre encore longtemps.

En 1908, il a été extrait, dans le monde, d'après la statistique française, 112 millions de tonnes de minerais de fer ayant produit 48 millions de tonnes de fonte ; ce qui représenterait une teneur moyenne de 43 p. 100. En 1909, le total des minerais est, d'après le même service, de 134 800 000 t. pour 60 000 000 fonte (teneur moyenne de 44 p. 100).

Les statistiques de minerais sont mal comparables entre elles si on ne tient pas compte au moins de la teneur en fer et en phosphore. Nous en donnons néanmoins un tableau approximatif. D'autre part, les statistiques métallurgiques ne correspondent nullement aux extractions de minerais, puisqu'il y a vente et exportation de minerais d'un pays à l'autre. Il suffit, en outre, de comparer deux statistiques de provenances différentes pour constater des divergences très notables. Nous adoptons les chiffres de la Mineral Industry américaine qui nous paraissent les plus exacts.

TABLEAU 16. — PRODUCTION DES MINERAIS DE FER EN 1900, 1908 ET 1909 (en milliers de tonnes, d'après la statistique française).

PAYS PRODUCTEURS	1900	PRIX MOYEN de la tonne sur place	1908	1909	PRIX MOYEN de la tonne sur place
	Mille tonnes	Francs.	Mille tonnes.	Mille tonnes.	Francs.
Etats-Unis	26 332	15,29	34 331	53 936	9,18
Allemagne	12 793	6,10	18 425	19 712	5,31
Grande-Bretagne	14 253	7,47	15 272	15 220	6,11
France	5 448	3,78	10 057	11 890	4,47
Algérie	602	9,28	943	891	10.92
Tunisie	»	»	148	218	11, »
Espagne	8 702	4,40	9 896	9 271	4,59
Luxembourg	6 171	2,75	5 799	5 794	2,71
Russie	5 797	»	5 264	5 402	»
Suède	2 610	7,97	4 713	»	»
Canada	70	18,38	»	»	»
Autriche	1 725	6	2 632	2 490	9,58
Hongrie	1 634	5,84	624	1 936	7,23
Terre-neuve	312	5,10	878	950	5,69
Grèce	524	12,50	862	589	8,72
Italie	247	18,54	539	531	13,54
Norvège	4	9,29	110	»	»
Total, avec divers	87 566		111 658	134 799	

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

TABLEAU 17. — PRODUCTION DES FONTES EN MILLIERS DE TONNES DANS LE MONDE.

PAYS PRODUCTEURS	1900	1904	1906	1907	1908	1909	**1910**
Etats-Unis . .	14 009	16 760	25 706	26 193	16 190	26 108	27 636
Allemagne . .	7 549	10 103	12 478	13 045	11 813	12 917	14 793
Gr.-Bretagne .	9 093	8 699	10 311	10 082	9 438	9 813	10 380
France. . . .	2 714	2 989	3 319	3 588	3 391	3 632	4 032
Russie	2 296	2 978	2 350	2 768	2 748	2 871	2 740
Autr.-Hongrie.	1 311	1 369	1 403	1 405	1 650	1 958	2 010
Belgique . . .	1 161	1 307	1 431	1 427	1 206	1 632	1 803
Canada. . . .	87	274	550	590	572	687	752
Italie.	116	117	109	115	527	661	635
Suède.	526	528	552	603	563	443	604
Espagne . . .	289	386	387	385	403	389	367
Total, avec divers . .	39 599	46 069	59 074	60 680	48 640	61 217	65 860

TABLEAU 18. — PRODUCTION DE L'ACIER EN MILLIERS DE TONNES DANS LE MONDE

PAYS PRODUCTEURS	1900	1904	1906	1907	1908	1909	**1910**
Etats-Unis . .	10 382	13 746	23 772	23 733	14 247	24 338	26 512
Allemagne . .	6 645	8 930	11 135	12 063	10 480	12 049	13 698
Gr.-Bretagne .	5 130	5 107	6 565	6 627	5 380	5 975	6 106
France. . . .	1 565	2 080	2 371	2 677	2 727	3 034	3 506
Russie	2 217	2 811	1 763	2 076	2 341	2 471	2 350
Autr.-Hongrie.	1 145	1 195	1 195	1 195	2 025	1 969	2 154
Belgique . . .	655	1 069	1 185	1 183	1 065	1 370	1 449
Canada. . . .	24	151	515	516	598	764	835
Suède	300	333	351	443	427	810	468
Italie.	115	113	109	115	537	661	635
Espagne . . .	144	193	251	247	239	227	219
Total, avec divers.. .	28 727	36 148	49 635	51 273	44 359	53 499	58 252

Etats-Unis. — Aux Etat-Unis, le grand centre de production est le bassin du Lac Supérieur[1].

[1] On trouvera, dans *The Iron Ore Resources of the world*, t. 2, p. 756, un tableau de production des minerais de fer aux Etats-Unis, classés par états.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 19. — PRODUCTION DU MINERAI DE FER AUX ÉTATS-UNIS (EN MILLIERS DE TONNES MÉTRIQUES).

	1907	1908	1909
Lac Supérieur	42 723	26 430	43 266
Etats du Sud	7 660	5 975	7 470
Autres Etats	3 156	1 896	3 200
Total de la production	53 539	34 331	53 936
Importations	1 242	785	1 720
Consommation correspondante (en tenant compte des exportations et des stocks).	50 758	33 835	54 613

Dans le *bassin du Lac Supérieur*, la production se subdivise à son tour (en 1 000 tonnes).

TABLEAU 20. — PRODUCTION DU MINERAI DE FER AU LAC SUPÉRIEUR (EN 1000 TONNES)

	Moyenne de 1880 à 1890	1907	1908	1909	1910	Ressources actuelles[2] en M T
Lac Supérieur[1].						
Mesabi	»	27 775	17 473	28 297	29 680	3 100
Marquette	2 088	4 432	2 434	4 319	4 458	110
Gogebic	1 348	3 674	2 727	4 148	4 485	95
Menominee	1 449	5 020	2 706	4 947	4 303	80
Vermilion (Pioneer).	537	1 701	849	1 125	1 225	60
Baraboo	»	77	123	83	92	»

Les principaux producteurs ont été (1908) en tonnes métriques :

Mesabi. — Hull-Rust 2 046 000 t. ; Burt 1 474 000 ; Fayal 1 453 000 ; Adams 773 000 ; Virginia 667 000 ; Mahonning 617 000.

Gogebic. — Norrie 780 000 t. ; Newport 585 000.

Menominee. — Chapin 394 000 t. ; Pewabic 368 000.

Marquette. — Cleveland Cliffs 442 000 t. ; Hartford 280 000.

Vermilion. — Pioneer 482 000 t.

Les ressources du Lac Supérieur sont assez limitées si on considère les conditions actuelles (3 500 MT). Mais elles sont susceptibles d'atteindre des chiffres énormes dès qu'on admet un abaissement de la teneur, qui correspondra sans doute aux conditions industrielles de l'avenir. On considère que, jusqu'à 50 p. 100, il peut y avoir 72 000 MT disponibles. En arrivant à 36 p. 100, on trouverait 276 000 MT jusqu'à une profondeur de 500 m.

Nous aurons à étudier longuement les minerais algonkiens de ce bassin.

La *région orientale* des Etats-Unis comprend des magnétites ar-

[1] Marquette est en Michigan : Menominee et Gogebic sont en Michigan et Wisconsin ; Vermilion et Mesabi en Minnesota. Les profondeurs d'exploitation atteignent 461m. à Menominee et Marquette.

[2] D'une façon générale, les appréciations des ressources sont données en millions de tonnes (MT).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

chéennes dans le district des Adirondacks, des hématites brunes cambriennes et ordoviciennes dans les monts Appalaches, de Vermont à l'Alabama; enfin des minerais carbonifères, qui ont été exploités autrefois en Pennsylvanie, Ohio, etc., mais qui sont aujourd'hui abandonnés.

Les *minerais du niveau de Clinton*, situés dans un horizon constant du silurien supérieur, se trouvent sur de vastes étendues dans l'Alabama (Birmingham), le Tennessee, etc. Ils sont généralement pauvres, mais représentent néanmoins la principale ressource des Etats-Unis après le bassin du Lac Supérieur. On estime que 505 MT sont prenables actuellement et 1 368 MT possibles.

Dans le N.-W. de la *Louisiane* et les parties minières du *Texas* et de l'*Arkansas*, on signale encore une couche de 0,60 m. à 46 p. 100 de fer, inexploitable actuellement, dont le cube serait de 250 à 300 MT.

Dans la région des Montagnes Rocheuses, on n'a encore commencé d'exploitations qu'au *Colorado*. Mais il y existe d'assez nombreux gisements de fer, pour la plupart situés au contact de roches éruptives et de calcaires.

On peut rattacher aux Etat-Unis les exploitations de *Cuba*, qui ont produit, dans ces dernières années, une certaine quantité de magnétite pure en phosphore et apte au Bessemer, provenant de gisements associés à des diorites. Cette île renferme, en outre, de grandes quantités d'hématite brune à 40-50 p. 100, due à la décomposition sur place de roches diverses, serpentines, etc.

Allemagne. — La grande production de minerais de fer en Allemagne est celle des minettes lorraines, qui fournissent aujourd'hui par an (1907) 14 MT (non compris le Luxembourg). On en a estimé le cube disponible à 1 830 MT : peut-être avec quelque exagération en ce qui concerne les conditions actuelles.

Puis viennent, comme producteurs, la Prusse avec 5 MT, la Hesse avec 360 000 t., la Bavière avec 279 000 t.

Dans la Hesse et le Nassau, le district de la Lahn renferme, sur une grande extension, des minerais intercalés dans le dévonien.

Dans le Siegerland, la sidérite remplit de nombreuses fissures dans le dévonien.

A Ilsede et Salzgitter, au Nord du Harz, existent des minerais très développés qui semblent avoir été formés sur un rivage crétacé aux dépens d'une formation jurassique antérieure.

Enfin le district d'Amberg en Bavière passe pour contenir de grandes quantités de minerais pauvres.

Grande-Bretagne. — La plus grande partie de la production anglaise est alimentée par des minerais sédimentaires carbonatés, plus ou moins complètement transformés en peroxydes, qui se trouvent surtout dans le secondaire et sont généralement phosphoreux. Sur 15,2 MT produites par an, 11,2 MT, soit 70 p. 100 du total, viennent des minerais mésozoïques du Cleveland, du North East Yorkshire, du Northamptonshire et du Lincolnshire, mais surtout du Cleveland qui fournit à lui seul 5 à 6 MT par an. On a extrait de ce district environ 250 MT, et il peut en rester 500 MT

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

utilisables actuellement, sans compter 2 500 MT de minerais à faible teneur.

Dans le Northamptonshire, on n'exploite que les affleurements oxydés à 35-40 p. 100 sur des couches carbonatées à 30-35 p. 100.

Des minerais analogues, qui ont eu une grande importance il y a un demi-siècle, mais qui sont aujourd'hui abandonnés, existent dans le carbonifère d'Ecosse, du South Wales, etc. Le cube n'en est pas estimé à moins de 34 MT, mais en minerais pauvres à 26-32 p. 100.

D'autre part, les seuls minerais à Bessemer anglais sont ceux du Cumberland et du Lancashire, qui s'intercalent par substitution dans les calcaires carbonifères. Leur production annuelle d'environ 2 MT semble pouvoir être encore longtemps conservée.

Il existe, en outre, en Irlande, comté d'Antrim, des dépôts importants de minerais alumineux ou de bauxites ferrugineuses à 25 p. 100, dont on extrait seulement 100 000 t. par an comme fondant.

L'Angleterre, malgré ses ressources considérables en minerais de fer, en importe également beaucoup : en 1907, 7,6 MT à 50 p. 100 donnant 3,8 MT de fonte ; ce qui est à peu près le tiers de la production anglaise. Cela tient à ce que la plus grande partie des réserves anglaises est faite de minerais à basse teneur, qui seront seulement utilisables plus tard.

France. — En 1900, la France produisait 5 448 000 t. de minerai de fer et l'Algérie 602 000 t. En 1908, on est monté respectivement à 10 057 000 t. et 943 000 t. plus 148 000 t pour la Tunisie; en 1909, à 13 MT au total ; c'est-à-dire que la production a doublé dans ce court intervalle de temps. Cela tient surtout à l'énorme accroissement de la production lorraine. La décomposition se fait comme suit en 1908, et 1909.

TABLEAU 21. — PRODUCTION DES MINERAIS DE FER EN FRANCE, 1908, 1909

		1908	1909	Prix en 1909
Meurthe-et-Moselle	minerai hydroxydé oolithique	8 452 682	10 673 000	4 25
Pyrénées Orientales	hématite brune	279 808	215 500	8 90
	fer spathique grillé	63 625	62 400	8 70
Calvados	hématite rouge et brune	203 000	220 000	6 53
Orne	fer spathique grillé	142 354	196 900	6 00
	minerai hydroxydé	8 910		4 00
Haute-Marne	minerai hydroxydé	80 770	74 400	5 00
Aveyron	minerai hydroxydé et fer carbonaté	63 000	49 000	4 00
Gard	minerai hydroxydé	33 428	40 000	6 50
Maine-et-Loire	fer oxydulé	21 218	29 700	6 50
Ariège	hématite et fer oxydulé	36 000	25 000	8 00
Ardèche	hématite rouge	31 154	7 400	6 50
Algérie :				
Dép. d'Oran	hématite rouge	443 524	472 800	12 63
Dép. d'Alger	hématite rouge	80 556	203 200	10 00
	fer oxydulé	43 954	36 000	6 00
Dép. de Constantine	hématite rouge	39 087	39 400	13 00
	fer oxydulé	85 041	85 000	9 00

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Malgré sa richesse en minerais qui détermine une forte exportation, la France continue néanmoins à importer certains minerais de qualités spéciales. Par exemple en 1908, les usines de Meurthe-et-Moselle ont passé, pour 5 973 000 t. de minerais français, 1 111 300 t. de minerais étrangers. L'ensemble des usines françaises a traité 1 430 000 t. de minerais étrangers contre 7 673 000 t. de minerais nationaux.

En 1908, la France a produit 3 400 000 t. de fonte valant 280 millions, sur lesquels 700 000 t. correspondent aux fontes de moulage et valent 60 millions. Le reste a été employé à la fabrication du fer et de l'acier, et a donné : 560 000 t. de fer et acier soudés valant 100 millions ; 1 852 000 t. d'acier fondu ouvré valant brut 418 millions. Pour faire correspondre les chiffres, il faut remarquer que les exportations de fonte se soldent, en outre, par un excédent de 80 000 t. et qu'il y a remploi de vieilles fontes. En 1909, on a produit 3 574 000 t. de fonte valant brute 293 millions.

Les produits élaborés peuvent valoir trois fois plus que le fer et l'acier bruts.

Une évaluation très modérée des réserves en minerais de fer français les décompose ainsi :

Bassin de Briey	2 000	M T[1]	3 000
— la Crusnes	500	—	
— Longwy	300	—	
— Nancy	200	—	

Espagne. — Le grand gisement de fer espagnol est celui de Bilbao, qui a produit environ 150 MT. de minerai depuis vingt-trois ans et qui peut en contenir encore environ 61 MT.

Mais il existe d'autres grands gisements mal utilisés : celui de la province d'Oviédo, dans les schistes paléozoïques, pouvant contenir 111 MT de minerais ; celui de Leon analogue, mais avec des minerais inférieurs à 33-44 p. 100, renfermant 125 MT ; celui d'Ojos Negros, dans le silurien de la province de Teruel (Guadalajara) : 93 MT.

La production de 1907 [2] se décompose ainsi : Biscaye 4 786 000 ; Santander 1 437 000 ; Murcie 1 033 000 ; Alméria 844 000 ; Séville 302 000 ; Lugo, 292 000 ; Téruel 215 000 ; sur un total de 9 796 000.

Luxembourg. — Toutes la production du Luxembourg est fournie par le prolongement du bassin lorrain, où l'on estime qu'il peut rester 2 300 hectares exploitables contenant 270 MT.

Russie. — La production russe est la suivante[3].

[1] MT ou million de tonnes ; mt ou millier.

[2] Voir, dans *Iron Ore Resources*, p. 83, un tableau de la production espagnole de 1903 à 1907 avec une carte.

[3] Voir *Iron Ore Resources of the World*, p. 364, un tableau de 1900 à 1906, avec une description très détaillée des mines russes par Bogdanovitch de 363 à 544.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 22. — PRODUCTION DE MINERAIS DE FER EN RUSSIE (EN 1000 TONNES)

	RUSSIE MÉR. Krivoïrog	OURAL	POLOGNE	Bassin DE MOSCOU	TOTAL (avec divers)
1900.	3 443	1 660	485	387	6 113
1906.	3 656	1 242	300	137	5 356

Dans la Russie méridionale, Krivoïrog a produit à lui seul 3 750000 t. en 1907. Kertch produisait 420000 t. en 1901, mais est tombé depuis à 300000 t. par suite de l'arrêt de l'usine de la compagnie Briansk.

Dans l'Oural, on a produit, en 1906, 836 000 t. de limonite, 340 000 de magnétite, 65 800 t. d'hématite.

On estime les réserves de Krivoïrog à 86 MT de minerais au-dessus de 50 p. 100, celles de l'Oural à 282 MT, celles du district de Lipezk en Russie centrale à 680 MT en minerais au-dessous de 50 p. 100, celles de la Pologne (minerais surtout jurassiques) à 300 MT, celles de Kertch à 450 MT en (minerais très phosphoreux à 1,5-2 p. 100 de phosphore et aussi très manganésifères (5 à 7 p. 100 de manganèse avec 34-42 p. 100 de Fer).

Suède. —Depuis dix ans, il s'est opéré, en Suède, un déplacement complet des centres industriels, et l'on a vu le premier rang passer à des mines autrefois sans importance,telles que Kirunavara, Grängesberg ou Gellivara, dans lesquelles dominent les minerais de fer phosphoreux. A Grängesberg, par exemple, les concessions datent bien du XVIII[e] siècle ; mais les nombreuses petites exploitations, qui en étaient résultées, n'avaient jamais eu grand développement jusqu'au jour où l'on commença à traiter les fontes phosphoreuses, et il y eut même une époque où l'on défendit d'exploiter les minerais de Grängesberg pour ne pas nuire à la réputation des fers suédois. De même à Gellivara, les compagnies se succédèrent sans succès jusqu'à la formation de la compagnie actuelle, l'« Aktiebolaget Gellivare[1] Malmfält », qui date de 1890. A Svappavara, on n'a, depuis le XVII[e] siècle, exploité que le cuivre, et la montagne de fer de Kirunavara était encore entièrement vierge en 1899. Quelques chiffres statistiques vont mettre en évidence ce déplacement.

Si l'on se reporte simplement à la période de 1870-79, on voit que les principales mines de fer suédoises étaient alors : 1° Norberg (101.000 t.) ; 2° Persberg (48 000 t.) ; 3° Striberg (39 500 t.) ; 4° Grängesberg (39 000 t.) ; 5° Dannemora (35 000 t.). Le total annuel moyen des minerais de fer extraits en Suède était, à cette époque, de 750 000 t.

En sautant seulement douze années pour arriver à la période de 1891-1895, on trouve, en tête, Gellivara avec une production moyennne annuelle de 353 000 t. ; Grängesberg, avec 320 000 t. ; puis Norberg, avec 136 000, et Dannemora, avec 55 000 t. ; au total, pour l'ensemble du pays, 1517 000 t.

[1] Les Suédois écrivent ordinairement Gellivare, Routivare, etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Depuis dix ans, ces chiffres se sont considérablement augmentés.

Gellivara Malmberget a produit 600 000 t. en 1897, 800 000 t. en 1898 et en 1899, 1 015 000 t. en 1906 (année maxima). Grängesberg a produit 639 000 t. en 1896, 630 000 t. en 1897, 671 000 t. en 1900, 778 000 t. en 1905 et, après être tombé à 558 000 t. en 1909, 778 000 t. encore en 1910.

En 1909, les mines lapones ont produit : 1 383 000 t. pour Kirunavara (contre 1 649 000 t. en 1908), 722 000 t. pour Gellivara Malmberget, 206 000 t. pour Koskulls-Kulle et 70 500 t. pour Tuolluvan.

L'évaluation des réserves en fer de la Suède septentrionale donne les chiffres suivants : Kirunavara, 758 MT ; Gellivara (Malmberg) 230 ; Gellivara (Koskulls Kulle). 40 ; Svappavara, 30 ; Leveäniemi, 30 ; Ekströmberg, 50 ; Routivara, 8 ; au total 1 035 MT, auxquels il faut ajouter 143 MT pour les mines productives de la Suède centrale et méridionale.

Canada — L'industrie ferrifère, encore très pauvre au Canada, s'est rapidement développée, dans ces dernières années, comme l'ensemble du pays. Elle est évidemment loin d'avoir atteint son apogée. On exploite surtout le prolongement septentrional du bassin du Lac Supérieur : l'Animikie range qui continue le Mesabi ; le Michipicoten range, que l'on peut assimiler au Vermilion.

Autriche-Hongrie. — L'Autriche a deux grands centres de production : le district alpin de l'Erzberg styrien (Eisenerz, Vordernberg) et de l'Erzberg carinthien (Hüttenberg. Alpine montan Ges.), et la Bohême, district de Prague (Prager Eisen Industrie Ges).

Viennent ensuite, à titre accessoire, les gisements de la Moravie, de la Silésie, de la Galicie et de la Bukowine.

La répartition était la suivante (en mille tonnes) en 1891 :

Styrie	761	Eisenerz	615
		Vordernberg	94
		Gollrad	34
Bohême (district de Prague)	313		
Carinthie	99		
Moravie	22		
Total, avec divers	1 231		

L'Erzberg styrien, avec ses sidérites intercalées dans le devonien, contient 206 MT de minerai à 25 à 45 p. 100. L'Erzberg d'Hüttenberg en Carinthie est beaucoup plus petit, et ne contient guère que 7 MT.

En Bohême, Komotau est abandonné, Pilsen peu important. Les exploitations principales sont celles de Nucic. On estime qu'il peut y rester 35 MT.

En Hongrie, le district le plus important est celui de Szepes Gömör, où les minerais passent pour reliés à des porphyres quartzifères d'âge permien. Puis viennent Wajda Hunyad et le Banat.

Terre-Neuve. — L'attention a été récemment attirée sur les minerais de Bell Island dans Conception Bay, près Saint-Johns, où deux compagnies ont commencé à travailler en 1895. On estimait, au début de 1908, qu'elles avaient pu extraire 7 MT et qu'il en restait 25 MT.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nous verrons, en outre, que l'Ouest de l'île renferme d'énormes masses de titano-magnétite, pour le moment inexploitables.

Grèce. — Les principales ressources en fer se trouvent dans le district du Copais et l'île d'Eubée, entre un gabbro et un calcaire crétacé. On estime qu'il peut y avoir 75 à 100 MT de minerais à 50 p. 100.

Italie. — Presque toute la production italienne vient de l'île d'Elbe, qui a fourni : en 1890, 190 000 tonnes sur 220 000 ; en 1900, 230 000 tonnes sur 250 000 ; en 1907, 490 000 sur 520 000 ; en 1910, 532 700 t. sur 551 000 t.
Une évaluation des réserves de l'île d'Elbe, faite en 1904, les estimait à 7.47 MT, dont il pouvait rester 5 MT au 1er janvier 1911.

Norvège. — Les gisements, encore peu exploités, de Norvège, sont ceux du Sydvaranger, du Dunderland, de Salangen et de Bogen. On en estime le cube à 350 MT de minerais à 36 p. 100. Ce sont des minerais pauvres, mais purs, qu'il faut pour la plupart, soumettre à une préparation mécanique. L'exploitation a été : en 1907, de 137 593 t. ; en 1908, de 110 428 t. (dont 46 000 t. de briquettes et concentrés[1].

C. — RÉSUMÉ. RESSOURCES MONDIALES EN MINERAIS DE FER

Une enquête, faite à l'occasion du congrès géologique de Stockholm en 1910, estime ainsi les ressources en minerais de fer du monde.

TABLEAU 23. RESSOURCES MONDIALES EN MINERAI DE FER
(millions de tonnes, MT)

	RESSOURCES ACTUELLES		RESSOURCES POTENTIELLES		SUPPLÉMENT PROBABLE
	minerai MT	fer MT	minerai MT	fer MT	
Europe . . .	12 032	4 733	41 029	12 085	considérable.
Amérique . .	9 855	5 154	81 822	40 731	énorme.
Australie . .	136	74	69	37	considérable.
Asie	260	156	457	283	énorme.
Afrique . . .	125	75	»	»	
Total . .	22 408	10 192	plus de 123 377	plus de 53 136	

Le seul examen de ce tableau, où 37 p. 100 des ressources actuelles en fer sont attribuées à l'Europe et 52 p. 100 aux Etats-Unis, montre assez que les évaluations relatives aux autres continents sont entièrement faussées par notre ignorance géographique et par les impossibilités industrielles.
Un autre tableau est seulement relatif aux minerais riches à plus de 60 p. 100.

[1] Voir NICOU (Ann. d. M. de avril 1911, p. 320 et 354).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 24. — RESSOURCES MONDIALES EN MINERAIS RICHES.

PAYS PRODUCTEURS	RESSOURCES en minerai MT	TENEUR moyenne p. 100.	FER métallique MT	OBSERVATIONS
Europe :				
Russie. Krivoïrog . . .	86	62	53,5	
Caucase	13	60	7,8	
Suède. Kirunavara, Gellivara	1 035	60-70	673	
Centre et sud.	60	60	36	
Amérique :				énormes amas de titano-magnétite à 65 p. 100 de fer
Terre-Neuve	. . . . .	. . . . .	. . . . .	
Mexique	55	60-70	30	
Indes occidentales . .	3	60	1,8	
Australasie	83	64	49	
TOTAL	1 300		850	

DEUXIÈME PARTIE

MÉTALLOGÉNIE DU FER

A. — ROLE GÉOLOGIQUE DU FER ET MINERAIS[1]

Le fer, à l'état natif, ou allié avec d'autres métaux du même groupe tels que le nickel, paraît être un élément important de la zone terrestre située

Pour les **généralités géologiques sur le fer**, voir : 1877. CH. TICHBORNE. *On the formation of magnetic oxide by the dissociation of ferrous salts* (PROC. R. Irish Academy, 2e série, t. 3, p. 79. Dublin). — 1880. NEWBERRY. *The genesis of the ores of Iron* (In-8° 17 p. New-York). — HUDDLESTON. *On the geological history of iron ores* (Proc. geol. assoc. — 1882. JULIEN. *The Genesis of the crist. iron ores* (Tr. Phil. Ac. Nat. Sc., p. 335; Eng. fev. 1894; Trans. N. Y. Ac. Sc., p. 6; Am. J. Sc., t. 25, p. 476. — 1884. CZYZSKOWSKI. *Les minerais de fer dans l'écorce terrestre* (Bull. Soc. Ind. min., 2e série, t. 13, p. 481. Saint Etienne). — 1886. REYER. *Géologie des Eisens* (Oest. Z. f. B. u. H., t. 30, p. 89. — 1890. CARNOT. *Analyses de minerais de fer* (Ann. d. M.). — 1891. KIMBALL. *Genesis of Iron Ores by Isomer. and Pseudomor. Repl. of Limestone* (Am. J. Sc., sept., p. 231 : Am. Geol., dec. 1891). — 1897. OCHSENIUS. *Zur Bildung von Rotheisenstein Lagern.* — 1898. TOLDT. *Die Chemie des Eisens*. — 1901. BECK. *Die Geschichte des Eisens* (Braunschweig). — 1902. ZALINSKI. *Ueber die Löslichkeit der Eisenerze in Fluorwasserstoffsäure* (Zentr. .. Min. Stuttgart, p. 647-9). — 1910. *Iron ore Resources of the World* (Congrès géologique de Stockholm). 2 vol. in-4° et atlas. Cette belle publication est à consulter en premier lieu pour tout ce qui concerne la géologie du fer. — Consulter, en outre, comme **monographies régionales sur les gisements de fer** : 1884. HOCK. *Mines de fer de l'Espagne* (Cuyper, t. 5, p. 510). — 1890. MUNT. *The Iron Ores of the Un. St.* (M. E., oct.). — 1893. KENDALL. *The Iron ores of great Britain and Ireland* (Londres, 224 p.). — 1903. L. DE LAUNAY. *Minerais de fer de Scandinavie*. (Ann. d. Min.)

Voir, dans l'ouvrage *The Iron ore Resources of the World*, une série de monographies régionales, dont quelques-unes très étendues et enrichies de littérature : notamment celles de C. Schmidt sur la Suisse, de von Loczy et von Papp sur la Hongrie, de Bogdanovitch sur la Russie, etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

immédiatement au-dessous de l'écorce silicatée sur laquelle portent toutes nos observations: zone que l'on aurait tort de regarder en conséquence comme très profonde, puisque l'écorce silicatée peut avoir une épaisseur restreinte. Avec l'aluminium, dont la proportion dans cette écorce est presque le double de la sienne, le magnésium, le calcium et les alcalis, il a, en aidant à saturer la silice, contribué à former cette grande croûte de scories, dans laquelle nous distinguons nos diverses roches cristallines, et cette scorie relativement légère s'est élevée à la surface d'un bain métallique, dont il lui est arrivé accidentellement d'englober, de montrer aujourd'hui des grenailles, telles que le fer natif d'Ovifak, au Groenland. Les météorites, où l'on retrouve également le fer nickelé, avec du silicium, du carbone, du soufre et du phosphore, nous représentent aussi, suivant toutes vraisemblances, une forme moins oxydée, plus profonde de cette matière interne.

La scorie silicatée est l'objet essentiel de la pétrographie. Nous pouvons ici retenir de cette science la distinction de deux magmas : l'un *ferro-magnésien*, à couleur sombre, dans lequel nous retrouvons précisément la plus grande partie du fer et l'autre *alcalin* de couleur blanche : le premier jouant le rôle d'une simple scorie ignée, tandis que le second a pu être entraîné à distance comme une sorte de solution. Le fer peut être à peu près absent dans les roches acides. Tant que la teneur en silice reste au-dessus de 45 p. 100, sa proportion ne dépasse guère 1 à 1,5 p. 100. Quand la silice décroît, le fer augmente en même temps que le calcium et le magnésium : ce dernier métal étant, on le sait, le corps vraiment caractéristique de la basicité et l'on arrive à 6,5 p. 100 de fer dans les pyroxénites. Des ségrégations de magnétite à 72 p. 100 de fer peuvent localement alors se produire.

En résumé, si l'on envisage l'ensemble de l'écorce terrestre, on voit que le fer y entre en moyenne pour 4,70 p. 100 (3,40 de protoxyde et 2,70 de sesquioxyde).

En moyenne, également, un granite contient 0 à 5 p. 100 de fer, un porphyre 0 à 10, une diorite ou diabase 3 à 12, une rhyolite 0 à 6, une andésite 2 à 11, un basalte 8 à 15 p. 100[1].

Cette grande diffusion, fait qu'une roche quelconque, prise au hasard, renferme des quantités déjà notables de fer. Ce fer y existe, soit en silicates, soit en oxydes, soit en sulfures.

Les *combinaisons silicatées du fer*, où ce métal s'associe au magnésium en une scorie ferro-magnésienne, sont caractérisées par leur teinte sombre. Parmi les minéraux très nombreux qui constituent cette scorie, quelques-uns arrivent à une teneur élevée en fer. La berthiérine atteint à 74,7 p. 100 de fer, la chamosite[2], qui est un véritable minerai, à 46. On peut citer encore l'ilvaïte qui tient environ 40 de fer (24 en peroxyde et 16 en oxyde ferreux). La proportion de fer à l'état d'oxyde ferreux est de 5,50 à 22 dans la hornblende, de 12 à 21 dans certains péridots, 7,5 à 27 dans le grenat almandine et atteint 45 dans la fayalite. L'épidote tient 5,4 à 9 de fer en sesquioxyde. On retrouve, d'ailleurs, du fer

[1] Les proportions sont souvent données en oxyde ferreux FeO à 77,75 de fer, ou en peroxyde Fe^2O^3 à 69,97. L'oxyde salin Fe^3O^4 tient 72,38.

[2] On dit aussi Chamoisite ; mais la localité originelle est Chamoson en Valais.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

même dans les minéraux blancs et l'orthose peut en contenir 1 p. 100.

A côté de ces silicates très rarement utilisables, il s'est, par suite de réactions diverses sur lesquelles nous allons revenir, isolé un certain nombre de substances, que l'on peut considérer à des degrés divers comme des *minerais de fer* proprement dits.

Ces minerais, sont, avant tout, les *oxydes* : le sesquioxyde anhydre (fer oligiste ou spéculaire, hématite rouge[1], à 69,97 p. 100 de fer) ; l'oxyde salin (magnétite à 72,32 p. 100 de fer); les sesquioxydes hydratés, tels que la goethite $Fe^2 O^3, H^2O$, à 62,9 de fer (89,9 de $Fe^2 O^3$) et l'hématite brune ou limonite $2\ Fe^2 O^3, 3\ H^2O$, qui tient 52 à 59 de Fer, avec 13 à 25 p. 100 d'eau. On peut également, dans certains cas spéciaux, utiliser le fer chromé (Fe Mg) (Cr, Al) $^2O^4$, qui tient de 18 à 28 de fer.

Le carbonate, sidérite, sidérose ou fer spathique, tient théoriquement 48,23 de fer. Pratiquement, on oscille entre 46 et 63 de FeO, ce FeO pouvant être remplacé par MnO.

Parmi les *sulfures*, on distingue, d'après leur cristallisation, deux sulfures FeS^2 à 46,57 de fer : la pyrite jaune cubique et la pyrite blanche, ou marcassite rhomboédrique. Puis il faut signaler la pyrrhotine, ou pyrite magnétique, (Fe^6S^7 à $Fe^{11}\ S^{12}$) à 60,42 p. 100 de fer. Ces sulfures ne deviennent des minerais de fer qu'accessoirement, comme résidus de grillage.

Nous venons enfin de rappeler que le *fer natif* a été parfois rencontré en masses pouvant atteindre 20 tonnes à Ovifak (Groenland) et que le fer nickelé forme un élément important des météorites.

Si l'on analyse la forme, sous laquelle se sont produits les départs profonds du fer, on constate que, pour ce métal polymorphe, les trois groupes de fumerolles ont dû jouer un rôle : les chlorures, les sulfures et les carbonates, les chlorures surtout avec les roches acides, les sulfures de préférence avec les roches neutres ou basiques, les carbonates dans les départs filoniens plus accentués ou dans les remises en mouvement.

Dans une phase ultérieure des réactions géologiques, les roches et minerais, dont il vient d'être question, ont subi une altération, qui a pu, momentanément, faire passer le fer à l'état soluble, sulfates ou carbonates ferreux, pour arriver à le reprécipiter à l'état de sesquioxyde, soit directement et presque sur place par une sorte de métasomatose, soit après transport à la mer ou à un lac, par un phénomène connexe de la sédimentation, en carbonate ou en silicate. Ces deux formes de réactions sont capitales pour le fer, puisque la plupart de ses minerais pratiques leur sont, comme nous allons le voir, attribuables. Lors même qu'il n'y a pas production d'un véritable minerai de fer, il se produit, par altération sur place, des enrichissements en fer, dont la forme banale est l'argile rouge des poches de décalcification et des grottes. Le fer, qui s'est déposé par ce processus, semble avoir, tantôt pris la forme de carbonate ferreux, tantôt celle de peroxyde ; mais, avec une substance aussi facile à altérer, à métamorphiser et à remettre en mouvement, aucune de ces formes ne peut être considérée comme définitive ; elle n'est, comme nous

[1] Nous emploierons indifféremment, suivant la pratique courante, les mots d'hématite ou d'oligiste, de sidérite ou de sidérose.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

allons le voir, qu'un type de passage dans une série de cycles incessamment renouvelés.

Il est, d'ailleurs, facile de concevoir sur quels chiffres énormes portent ces remises en mouvement, auxquelles nous serons en droit d'attribuer une bonne part des concentrations utilisables.

En effet, la superficie des continents émergés étant de 145 millions de km², en admettant seulement une profondeur moyenne de 20 m. pour le niveau hydrostatique, c'est à peu près 3 millions de km³ qui sont soumis à la circulation constante des eaux.

La densité moyenne de l'écorce étant de 2,5 et sa teneur moyenne en fer de 4,70 p. 100, c'est en gros une masse de fer de 350 milliards de tonnes que les seules actions météoriques peuvent constamment remettre en circulation et concentrer, tout en contribuant à accroître la teneur en fer des mers et à y former des dépôts dans leur profondeur. Les gisements, où nous allons chercher des concentrations anormales de ce métal, représentent évidemment un faible cube à côté de celui qui résulte de la seule teneur moyenne.

Or, comme il en a été de même à toutes les époques de l'histoire géologique, notamment à la suite des grands mouvements orogéniques sur de nouvelles masses de terrains ramenés à la superficie, nous ne devrons nullement nous étonner qu'il se soit rassemblé, en tel ou tel point particulièrement favorisé, quelques centaines de millions de tonnes.

Dans un stade intermédiaire entre la dissolution et la reprécipitation, on constate l'existence du fer dans un très grand nombre d'eaux, soit ordinaires, soit minérales. Surtout dans ces dernières, la présence de l'acide carbonique peut favoriser notablement la dissolution du fer en carbonate ou bicarbonate.

Enfin, comme tous les corps donnant des composés solubles, le fer se retrouve dans les organismes vivants. Le sang est fortement ferrugineux avec une teneur d'environ 5 dix-millièmes. Le fer y est introduit à l'état de composés déjà organiques, dont on trouve l'origine première dans les tissus végétaux. Il est éliminé par les intestins à raison de 20 à 30 mgr. par jour.

B. — CYCLES DES MINÉRAUX FERRUGINEUX. — REMISES EN MOUVEMENT

Il faut remarquer aussitôt, quand il s'agit du fer, la facilité extrême, avec laquelle ce métal a pu se déplacer de ses combinaisons successives et changer de forme minéralogique en même temps que de gisement.

La dissolution aisée de ce métal dans ses diverses combinaisons avec des acides, — soit à l'état de sulfate par oxydation directe de la pyrite, soit en carbonate par l'acide carbonique de l'air et par celui qu'une double décomposition peut emprunter aux calcaires encaissants, soit par l'intervention d'acide organiques, créniques, etc., — rend le fer incessamment mobile. Si l'on y joint la réduction du sulfate en sulfures par les matières organiques, la peroxydation des magnétites au contact de l'air humide et, d'autre part, la déshydratation des oxydes hydratés par la chaleur, la réduction de l'oligiste en magnétite par divers agents de métamor-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

phisme, etc., on voit que les multiples combinaisons du fer sont susceptibles de passer constamment des unes aux autres et de revenir même à leur point de départ après un cycle complet, quand les conditions extérieures se modifient.

C'est ce que représente, sous une forme schématique, notre figure 187 (qui doit être lue de haut en bas). On y voit les transformations princi-

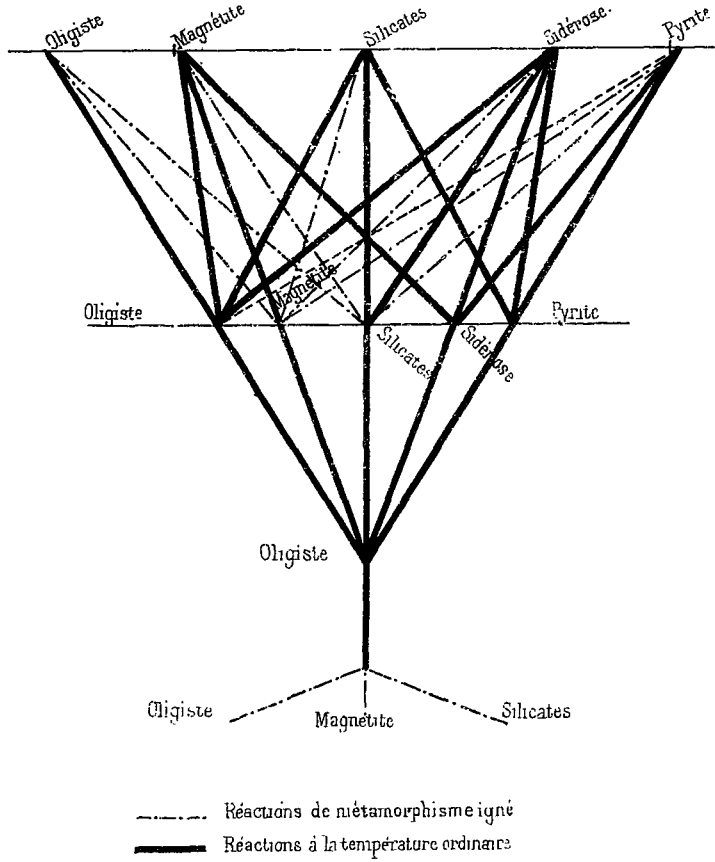


Fig. 187. — Schéma destiné à montrer les cycles de transformation des principaux minerais de fer.

pales réalisées sur les minerais de fer divers, soit à la température ordinaire, soit avec intervention ignée.

Nous devons étudier ces divers types de transformation, si nous voulons comprendre les formes parfois trompeuses de certains gisements et nous allons le faire, dans l'ordre de notre schéma, en partant des cinq minéraux principaux placés sur la première ligne, que nous allons envisager successivement, pour les voir aboutir, par des chemins divers, au sesquioxyde plus ou moins hydraté.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

1° Oligiste et magnétite. — Parmi les nombreux minéraux ferrugineux, l'oligiste, puis la limonite [1] (que nous n'avons pas figurée) représentent, dans les conditions de température et de pression superficielles, les deux étapes finales, l'aboutissement normal de tous les cycles plus ou moins compliqués, par lesquels ont pu passer antérieurement les composés du fer, avec ou sans intervention de réactions calorifiques. La limonite peut, à son tour, se déshydrater, revenir à l'oligiste et l'oligiste peut retourner à la magnétite ou à un silicate (ligne du bas). Ce cycle, comme tous les autres, est reversible, à la condition de modifier les conditions physiques.

Laissons de côté ces dernières possibilités et arrêtons-nous à l'*oligiste*.

Quelquefois, comme dans certaines roches volcaniques, cet oligiste représente la forme primitive, immédiate, de la cristallisation. Le plus souvent il y a lieu de remonter à une étape antérieure, où l'on pourra trouver la magnétite, les silicates divers, la sidérose ou la pyrite. Prenons ces corps successivement.

D'abord la magnétite. Ce que nous venons de dire pour l'oligiste des roches peut être répété pour la *magnétite*, qui, elle aussi, peut être un minéral immédiatement cristallisé dans une roche. Mais, d'autre part, la magnétite est très souvent elle-même l'aboutissant d'un minerai antérieur quelconque et de l'oligiste lui-même quand il y a eu réaction métamorphique avec intervention de la chaleur ou d'éléments réducteurs. Par oxydation superficielle, la magnétite peut donner de la sidérite ; elle donne aussi de la martite en gardant sa forme cristalline, ou de l'hématite, ou de la limonite. La martite, à laquelle nous ne faisons pas une place spéciale dans notre tableau, peut procéder directement d'un silicate.

Les deux passages inverses de l'oligiste à la magnétite et de la magnétite à l'oligiste s'observent, par exemple, très bien dans les minerais scandinaves, où je les ai étudiés autrefois [2].

Nous avons : à Grängesberg, de l'oligiste réduit en magnétite sur le contact de filons de quartz ; à Kirunavara, de la magnétite oxydée en hématite à la superficie. En tel gisement, la magnétite se présente comme la forme de cristallisation primitive ; ailleurs, elle doit, au contraire, provenir d'une réduction. Les raisons qui ont déterminé l'état d'oxydation plus ou moins avancé du fer, sont, en général, impossibles à démêler. Dans certains cas toutefois, on paraît les entrevoir.

C'est ainsi que je viens de rappeler l'action réductrice des filons de quartz, attribuable, soit à l'hydrogène produit dans la dissociation de l'eau en présence des silicates, soit au carbure d'hydrogène prove-

[1] La limonite est le minéral secondaire par excellence, se formant partout où un produit ferrugineux solide peut s'oxyder. Elle épigénise la sidérite, l'hématite, la magnétite, le pyroxène, l'amphibole. On la voit également se substituer (par moulage ou remplissage) à des minéraux non ferrifères, tels que la calcite, la barytine.

Par contre, la limonite peut aisément se déshydrater en passant par une série de stades successifs. La couleur de sa poussière devient alors rouge, bien avant que l'on soit arrivé à l'hématite rouge par deshydratation complète : les corps intermédiaires reçoivent le nom de *turgite*.

Certaines limonites renferment de la chromite (jusqu'à 5,5 de CrO^3), comme celles provenant des serpentines de péridotites en Nouvelle-Calédonie ; d'autres sont fréquemment manganésifères.

[2] *L'origine et les caractères des gisements de fer scandinaves*, p. 153.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nant lui-même, de cet hydrogène, agissant sur du carbone ou même sur des carbonates[1]. Cette dernière réaction contribuerait peut-être à expliquer pourquoi, dans bien des cas, à Dannemora, à Norberg, à Persberg, etc., les minerais encaissés dans les calcaires sont surtout des magnétites, ceux à gangue siliceuse des oligistes. A Dannemora et à Persberg, la magnétite joue un rôle prédominant, comme dans les gîtes de Taberg, de Kirunavara, bien que pour des raisons toutes différentes.

Mais, ailleurs, le mélange des deux oxydes est souvent très complexe, comme on le retrouve du reste dans beaucoup d'expériences de synthèse, où l'oligiste et la magnétite se produisent simultanément.

Quand ils se séparent, il arrive que toute une partie d'un district offre une prédominance d'oligiste, une autre à peu près exclusivement de la magnétite (Gellivara, Grängesberg, etc.).

2° Silicates de fer. — Les silicates peuvent être, dans les roches, un produit de cristallisation immédiate. Ils peuvent être aussi le produit d'une réaction exercée, avec ou sans influence calorifique, sur un sel ferrugineux quelconque en présence d'un terrain siliceux. La chlorite peut se substituer à la sidérose dans les sédiments ferrugineux. D'autres silicates, comme le grenat, seront plus exclusivement les produits d'un métamorphisme igné.

Il y a lieu d'insister ici avec un soin particulier sur deux groupes de silicates ferreux que renferment les sédiments et auxquels on peut attribuer un rôle plus ou moins direct dans la constitution des minerais de fer. De ces silicates, les uns sont alumineux, les autres potassiques. Ce sont : d'une part, les chamosites, berthiérines et bavalites, qui peuvent ne faire qu'un ; de l'autre les glauconies.

On désigne, dans la pratique, sous les noms de *chamosite*, *berthiérine* ou *bavalite*[2], de véritables roches formées par un minéral chloriteux à structure généralement oolithique, auquel devraient être réservées ces désignations et qu'enveloppe un ciment de nature variable. La composition d'une chamosite proprement dite est à peu près la suivante :

$$SiO^2 = 25{,}20\ ;\ Al^2O^3 = 20\ ;\ FeO = 37{,}50\ ;\ MgO = 4{,}40\ ;\ H^2O = 12{,}90$$

C'est donc un silicate de protoxyde de fer et d'alumine à rapprocher de la *thuringite*, qui en diffère parce qu'elle contient 13,50 de sesquioxyde de fer.

Cette structure oolithique a été considérée par certains minéralogistes comme originelle, par d'autres comme résultant d'une substitution à des oolithes calcaires.

[1] En Suède, certains filons de quartz ou de granulite à hydrocarbures ou à apatite, qui réduisent à leur contact l'oligiste en magnétite, renferment intérieurement de l'oligiste en grandes lamelles, très différent de l'oligiste à fines paillettes, semblable à un agrégat micacé, qui occupe la masse du gisement.

[2] Voir, pour cette étude : Lacroix. *Minéralogie de la France*, I, p. 339 à 397. La chlorite du paléozoïque est plutôt appelée bavalite, celles du secondaire, chamosite ou berthiérine

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La chamosite typique, associée avec des octaèdres de magnétite, forme des lits dans les calcaires oxfordiens de Chamoson, dans le Valais.

On la retrouve en Meurthe-et-Moselle, où elle a été signalée d'abord par Berthier et porte, en conséquence le nom de Berthiérine, soit dans les fers oolithiques du muschelkalk, soit dans ceux du toarcien. Elle y présente de petits oolithes discoïdes, ayant moins d'un millimètre de diamètre, composés par des couches concentriques de chlorite et réunis par un ciment en partie calcaire.

Souvent cette berthiérine apparaît magnétique, parce qu'elle renferme des traînées de grains de magnétite, non seulement dans des gisements ayant subi un métamorphisme comme dans les terrains paléozoïques de Bretagne ou de Maine-et-Loire, où on la trouve accompagnée de grenat, mais même, d'après A. Lacroix, dans le toarcien de Meurthe-et-Moselle, sans qu'il soit bien facile de s'expliquer cette cristallisation de magnétite.

Exposées à l'action des eaux oxydantes, les oolithes de berthiérine se transforment progressivement en oolithes de limonite, tout en gardant leur structure, et c'est sous cette forme que se présentent à nous la plupart des minerais. Quand on attaque ceux-ci par un acide qui dissout la limonite, il reste un squelette siliceux que A. Lacroix considère comme le dernier reste de la chlorite.

Cette chlorite, bien différente de la glauconie, a été souvent regardée comme la forme initiale du dépôt du fer, côte à côte avec la sidérite. D'après Cayeux, dont les arguments sont plausibles, la chlorite procéderait, au contraire, de la sidérite, et représenterait un stade intermédiaire entre la sidérite et l'hématite[1], un commencement de silicification analogue à celui qui caractérise en grande partie l'évolution des roches, mais qui, d'ordinaire, se traduit par l'isolement de la silice, tandis qu'ici, peut-être par l'intervention de la pression, dans les profondeurs marines, il y aurait eu combinaison silicatée.

La *glauconie* est une des formes, sous lesquelles le fer est le plus répandu dans les sédiments et, en particulier, dans les craies. Son examen attentif présente d'autant plus d'intérêt que nous assistons aujourd'hui encore à sa cristallisation dans les sédiments marins.

La glauconie n'est pas sans analogies minéralogiques avec les chlorites dont nous venons de parler; elle contient toutefois plus de silice et moins de fer; mais elle s'en distingue surtout par le rôle très subordonné de l'alumine et, au contraire, par l'importance de la teneur en potasse. Voici une analyse moyenne :

$$SiO^2 = 52;\ FeO = 21;\ Al^2O^3 = 6;\ MgO = 3{,}50;\ K^2O = 7{,}50;\ H^2O = 10$$

[1] La thèse de Cayeux est fondée, avant tout, sur ce fait que, dans les oolithes, le nucléus est parfois en sidérose et que, dans la chlorite, on voit parfois des débris de sidérose semblant se décomposer. Quand on examine de tels minerais, il arrive que l'on rencontre de la chlorite sans sidérose quand la transformation a été complète; mais, lorsque les deux coexistent, la chlorite semble s'intercaler entre la sidérose et l'hématite : la sidérose occupant le nucléus des oolithes, avec ou sans intervention de quartz, réputé secondaire parce qu'il englobe de la sidérose. Dans les oolithes chloriteuses de May, la sidérose peut subsister, jusqu'à la périphérie, suivant des zones concentriques, résidus d'une extension ancienne plus considérable.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Suivant les échantillons, la magnésie est plus ou moins abondante ; parfois aussi une oxydation, qui a bien des chances pour être secondaire, a fait passer le fer à l'état de sesquioxyde.

La glauconie ne constitue pas des oolithes comme la chamosite ; elle offre toutefois une tendance, qui n'est pas sans analogie avec ce mode de groupement, à constituer des grains noduleux, rarement plus gros qu'un dixième de millimètre. Une association, qu'il importe de mettre en relief, fait souvent apparaître, avec la glauconie, du phosphate de chaux, également noduleux (craie phosphatée glauconieuse du turonien de Cambrai, sables phosphatés et glauconieux cénomaniens de Sainte-Menehould, dans la Marne ; marnes à nodules phosphatés nummulitiques de Boghari en Algérie, etc...).

La glauconie est, comme je viens de le dire, un minéral de formation actuelle, ordinairement déposé dans les fonds marins entre 200 et 1 800 mètres de profondeur, avec des vases et des sables verts[1]. Dans les terrains géologiques, elle semble également accuser une sédimentation marine. On la trouve surtout en France dans le crétacé et dans le tertiaire. Comme les mêmes conditions de dépôt ont dû exister dans les périodes plus anciennes, il semble assez logique de supposer que, si on n'y trouve pas de glauconie, c'est parce que le métamorphisme l'y a fait disparaître.

D'autre part, on a remarqué que, dans bien des cas, la glauconie paraissait avoir été introduite après coup dans les terrains, où elle enveloppe des grains de quartz ou de feldspath et parfois épigénise ces derniers. Cayeux a tout spécialement étudié cette question [2] et a signalé, dans cet ordre d'idées, plusieurs faits intéressants.

La conclusion de son étude est que la glauconie paraît jouer, dans les sédiments, un rôle tout à fait analogue à celui de la silice. Au moment où ces sédiments se déposent, comme on peut le constater dans les formations océaniques actuelles, le silicate de fer est presque exclusivement fixé par la matière organique des foraminifères et autres organismes à coquilles calcaires, ainsi que la silice par celle des éponges. Il en résulte de premiers grains remplissant les chambres de ces foraminifères ; mais le phénomène ne s'arrête pas là. D'une part, le grain de glauconie peut continuer à se nourrir et dépasser le volume du foraminifère ; de l'autre, il se développe de la glauconie sur les grains de quartz ou de feldspath, dans les fissures des feldspaths ou des nodules phosphatés, par épigénie de la calcite ou même de la silice.

On est en droit de supposer que le silicate de fer potassique a son origine première dans la décomposition des feldspaths cristallins ; la dissolution se reprécipite avec une facilité spéciale, mais non exclusivement, sous l'action fixante des matières organiques. En outre, des remaniements mécaniques concentrent ces glauconies sur certains points, par exemple dans certains tuffeaux, et l'accumulent.

Ainsi se sont formées finalement les craies glauconieuses, et s'est loca-

[1] 1891. Murray et Renard. *The voyage of H. M. S. Challenger. Sea Deposits*, 236 et 383.

[2] 1897. Cayeux. *Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires* (Lille, Etude de la glauconie des roches siliceuses, p. 163 à 184).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lisée dans la craie une teneur en fer, qu'accusent plus tard les argiles rouges produites par la dissolution superficielle de cette craie [1].

3° Sidérite. — La sidérite (ou sidérose) peut être, à son tour, comme cela semble le cas dans certains filons hydrothermaux, la forme initiale. sous laquelle le fer a été apporté vers la surface. Elle peut encore avoir été produite par précipitation directe de sels de fer (empruntés à une origine quelconque) en milieu réducteur. Souvent aussi elle résulte d'une substitution antérieure à des calcaires, notamment en présence de pyrites.

Cette sidérite, une fois constituée, peut donner directement de l'oxyde de fer, comme on le constate dans d'innombrables cas. Il peut aussi se subtituer à elle de la pyrite. Enfin elle est suceptible de se transformer en silicate, non seulement par réaction de métamorphisme, mais même dans des conditions qui semblent avoir été voisines des conditions superficielles. Comme nous venons déjà de l'indiquer, il semble ainsi qu'elle puisse donner lieu à de la chlorite.

En s'altérant, elle provoque, comme nous aurons l'occasion de le redire plus tard, une concentration du manganèse, qui s'était déjà concentré une première fois dans la formation de la sidérite elle-même.

Si la sidérite était manganésifère, elle donne de la psilomélane, de la manganite, etc... qui, généralement, recouvrent la limonite en enduits noirs brillants et sont donc de formation postérieure. La magnésie, qui pouvait exister, est éliminée. La calcite est toujours le dernier élément formé dans les géodes, de même qu'elle soude les pisolithes de bauxite ou de fer en grains.

C'est, par exemple, de la sidérite plus ou moins manganésifères qui a donné les limonites de Rancié et du Canigou, de la Caunette, de Merzelet, d'Allevard et, généralement, la plupart des mines douces, les « vena », etc.

4° Pyrite de fer. — La pyrite peut être un minerai primitif, ou un minerai épigénique et secondaire. Elle s'introduit aisément dans d'autres minéraux pour se substituer à eux. Elle ne constitue, d'ailleurs, qu'une étape provisoire, puisque sa transformation en hématite est facile.

C. — CORPS ACCESSOIRES DES MINERAIS DE FER (CHAUX, SILICE, ALUMINE, PHOSPHORE, SOUFRE, TITANE, etc.)

L'étude des corps accessoires, que renferment souvent les minerais de fer, présente un double intérêt pratique et théorique, et mérite donc d'être envisagée ici avec un soin tout particulier [2]. On peut se proposer de rechercher comment ces corps ont été introduits ou développés dans le minerai de fer, tant pour apprendre où il faut les chercher ou les éviter suivant qu'ils sont utiles ou nuisibles, que pour saisir mieux la genèse

[1] L'altération de la glauconie commence par la verdir, puis la rendre jaune et enfin rouge.

[2] Voir, pour quelques-unes de ces questions : 1896. R. Brauns. *Chemische Mineralogie* (Leipzig).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

même du minerai qui les renferme. Nous examinerons ainsi successivement le cas des gangues normales, chaux, silice, alumine, puis celui des métalloïdes toujours nuisibles comme le phosphore, le soufre et l'arsenic, enfin celui des métaux comme le manganèse, le chrome, le tungstène, le molybdène, le vanadium, etc., qui peuvent, au contraire, présenter des avantages.

Chaux. — La chaux est, en principe, un élément favorable dans un minerai de fer, puisqu'elle contribue à la fusibilité des laitiers. On a été amené à rechercher tout particulièrement les minerais où cette gangue dominait.

La chaux peut exister dans un minerai de fer sous deux formes : les carbonates, tels que la calcite, la dolomie, l'ankérite (spath brunissant), etc.. ou encore le phosphate qui est une forme plus anormale, mais néanmoins susceptible d'introduire une quantité assez notable de ce corps.

En principe, on est en droit de penser que la majeure partie de la chaux encaissée dans un sédiment ferrifère a commencé par offrir la forme organisée. Le carbonate de chaux des organismes a été ensuite progressivement éliminé par les progrès des altérations superficielles ou profondes ; et les minerais cristallins des terrains anciens finissent parfois par en être exempts.

Cependant, quand il ne s'agit pas de fer sédimentaire, la chaux peut encore provenir de terrains encaissants dans le cas des ségrégations, filons, substitutions. Alors, le métamorphisme tend souvent à former les gangues silicatées de grenat, pyroxène, etc., que nous trouvons associées avec tant de gisements de fer.

Silice. — Contrairement à ce que nous venons de dire pour la chaux, on peut admettre qu'une grande partie de la silice associée avec des sédiments ferrifères résulte d'introductions, ou tout au moins de concentrations postérieures, et tend à s'accroître progressivement. Sans doute il a pu y avoir également, dès la première heure, un peu de silice associée avec un minerai de fer sédimentaire, soit en éléments clastiques, soit même en débris d'organismes à carapace siliceuse. Mais cette silice initiale semble généralement peu abondante. L'étude microscopique de certains minerais oolithiques montre même que les grains de quartz clastiques y font défaut : les nucleux quartzeux des oolithes, auxquels on a parfois attribué ce caractère, étant le résultat de subtitutions secondaires. De même, la chlorite des minerais primaires, qui aurait pu représenter un dépôt primitif de fer à l'état de protosilicate, ne serait le plus souvent, comme nous l'avons dit, qu'un produit de substitution à la sidérite.

Mais, si la silice initiale paraît avoir été peu abondante, toutes les réactions qui éliminent peu à peu la chaux, ont pour effet d'apporter et de concentrer la silice. Cette introduction de silice semble souvent avoir commencé dès la première heure. On a généralement la preuve qu'elle se continue aujourd'hui même : la teneur en silice de certains bassins ferrifères décroissant d'une façon régulière à mesure que l'on s'éloigne de la superficie actuelle.

Il ne faut jamais oublier ces réactions quand on se trouve en présence

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'un système ferrifère qui, sous sa forme actuelle, ne contient aucun calcaire et paraît uniquement composé de quartzites, hälleflint, etc.

L'introduction lente de silice dans les terrains ferrifères aboutit à donner des types de minerais que l'on a qualifiés parfois improprement de silicates, jaspes, jaspilites, etc. et qui sont des mélanges d'oligiste cristallin avec la silice secondaire.

Le type le plus caractéristique de ce genre est donné par les minerais, dits jaspilites, du Mesabi Range. On retrouve l'analogue dans les « quartzites » ferrifères de l'Anjou, les « agatisés » de Privas dans l'Ardèche, les minerais siliceux de la Voulte, etc [1].

Il est permis de rappeler, à ce propos, qu'un phénomène analogue, également d'origine superficielle, constitue souvent des bancs siliceux, dits jaspes, à teintes rouges, jaunes ou brunes caractéristiques, au contact des minerais de manganèse, eux-mêmes produits par une concentration de surface. Et peut-être faut-il encore penser à ce genre de réactions quand on voit les couches de friedélite des Pyrénées.

Quand, au lieu d'être englobé dans un sédiment, le fer se trouve dans une formation filonienne, il peut naturellement avoir été associé, dès le début, avec de la silice, également filonienne, à laquelle ne s'appliquent pas les remarques précédentes.

Alumine. — Dans les phénomènes géologiques, l'alumine va souvent de concert avec le peroxyde de fer, de même que ces deux corps se précipitent ensemble dans les réactions du laboratoire. On ne doit donc pas s'étonner de trouver, dans les minerais de concentration superficielle, toute une série continue partant de la bauxite pour aboutir aux fers en grains, avec tendance des deux éléments, alumine et oxyde de fer, à prendre la même forme globulaire, qui, du reste, se présente dans de très nombreuses substances.

D'autre part, l'alumine existe naturellement aussi sous la forme d'argile dans les sédiments. Et, de ces sédiments, l'alumine a passé dans les produits cristallins de leur métamorphisme.

Dans les ségrégations, nous avons vu précédemment [2] comment l'alumine reste rarement en excès, mais peut cependant exceptionnellement arriver à former du corindon.

Phosphore. — On connaît l'influence si essentielle du phosphore sur la qualité des minerais de fer. Cette influence est telle que nous devons nous arrêter longuement sur l'association métallogénique du phosphore et du fer. Une de ses conséquences est le soin avec lequel le phosphore est dosé dans les minerais. Ces nombreuses analyses industrielles nous fournissent des facilités spéciales pour étudier la distribution du phosphore dans les divers minerais.

La distribution de ce corps paraît tout d'abord tenir à des lois bien mystérieuses et presque indéterminables. Dans le même gisement, il

[1] Le même phénomène, on le sait, a produit les rognons de silex de la craie, les meulières, etc.

[2] Tome 2, page 232.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 25. — TYPES DE MINERAIS DE FER CLASSÉS D'APRES LEUR TENEUR EN PHOSPHORE

GROUPE	NOM DU GISEMENT	ALLURE GÉOLOGIQUE du gisement	AGE PROBABLE de la formation ferrugineuse	TERRAIN encaissant	NATURE ET TENEUR en fer du minerai p. 100.	MANGANÈSE	SOUFRE.	PHOSPHORE
GROUPE I. — AU-DESSOUS DE 0,02 DE PHOSPHORE		a. *Lentilles cristallines dans les terrains à facies archéen.*						
	Dannemora		précambrien ?	calcaire	hématite et magnétite : 53 à 60	0,7 à 1	. . . .	moins de 0,004
	Persberg		id.	calcaire				
	Mokta el Hadid		id.	cal. et schiste	id.	1 à 2 à la surf. 0 en prof.	. . .	moins de 0,0013
	San Thiago		id.	calcaire				—
	Krivoïrog		id.	quartz. et sch. métamor².	hématite : 50 à 70	. . . . .	. . . .	0,013 à 0,017
		b. *Minerais interstratifiés dans l'archéen et le précambrien, ayant subi une altér. superficielle.*						
	Menominee (lac supér.)		huronien	schistes	hém. hydr. : 50 à 60	0,27	0,019	0,018
	Vermilion Range (lac supér.)		archéen	schistes	hématite : 60 à 65	0,13	traces	0,0013 à 0,065
	Mesabi Range (lac supér.)		huronien	quartz. et sch.	hématite : 55 à 60	. . . . .	. . . .	très irrégulièrement
		c. *Minerais ayant subi une altér. superficielle.*						
	Privas (agatisés)		bajocien	calcaire	hématite : 47	. . . . .	. . . .	traces
		d. *Gîtes de substitution ayant passé par la forme carbonatée.*						
	Ile d'Elbe		tertiaire	calcaire	hématite : 62	0 à 02	. . . .	traces à 0,003
	Cumberland		permien	calcaire	hématite : 55 à 65	0,8 à 1,5	. . . .	moins de 0,01
	Lancashire		id.	calcaire	id.	id.	. . . .	moins de 0,01
	Eisenerz (Styrie)		tertiaire	calcaire	hém. et sid. : 40-45	. . . . .	. . . .	moins de 0,004
	Canigou		tertiaire	calcaire	hématite : 50 à 60	0,24 à 2	traces	traces à 0,052
	Murcie		tertiaire	cal. et schiste	hématite : 55 à 60	2 à 10	traces	0,017
	Banat		tertiaire	calcaire	hém. et magn. : 58	. . . . .	. . . .	traces
	Bilbao (forme d'altération superficielle) : campanil		tertiaire	calcaire	hématite : 56	0,66	. . . .	traces
	Bilbao : rubio			et	hématite : 63	1,84	. . . .	0,02
	Bilbao : vena			marne	hématite : 54	0,46	. . . .	»
		e. *Chapeaux de filons sulfurés (altération superficielle).*						
	La Caunette		tertiaire	. . . . .	hématite	. . . . .	. . . .	0,009
	Stahlberg (Siegen)		dévonien	. . . . .	sidérose : 38 à 40	6 à 7	. . . .	traces presque imperceptibles
GROUPE II. — DE 0,02 à 0,05		f *Lentilles cristallines dans le terrain primitif.*						
	I, II, IV : Norberg			dolomie		10	. . .	»
				calcaire et pyroxène	hématite et magn 53 à 60	0,17	. . . .	0 04
				gneiss sil.	. . . . .	0,116	. . . .	0,26
		g. *Chapeaux de filons sulfurés (altération superficielle).*						
	La Tafna [1]		tertiaire	calcaire	47	2 à 3	. . . .	0,026
	Tabarca		tertiaire	calcaire	52	0,6 à 2	. . . .	0,02 à 0,03
	Dj. Ouenza		tertiaire					
	I, IV : Vissokaya Gora		carbonifère	calc. du Sud sch. du Nord	magn. et mart. : 60 id.	» 0,68	. . . .	» 0,05
GROUPE III. — DE 0,05 à 0,1		h. *Sédiments d'âges divers.*						
	Gogebic		huronien	. . . . .	hématite : 60			
	Marquette (Lac supérieur)		huronien	. . . . .	hématite : 60	teneur sensible	0,04	0,055 0,075
GROUPE IV. — DE 0,1 à 0,8		h. *Sédiments d'âges divers.*						
	Thuringer Wald		silur. infér.	. . . . .	chamosite : 38 à 42	. . . . .	. . . .	0,20
	Segré		silurien	siliceux	olig. et magnét : 53	. . . . .	. . . .	0,21
	Clinton (N. Y.)		silur. supér.	calcaire	hémat. : 45 à 48	0,07	. . .	0,5 à 1
	Diélette		dévonien	siliceux	hém. et magn. : 57	0,07	. . . .	0,24
	Cleveland		lias moyen	calcaire	hématite : 40 à 43	. . . . .	. . . .	0,65
	Mazenay		hettangien	calcaire	28 à 30	0,13	0,13	0,45
	Berry		éocène	. . . . .	limonite : 40	. . . . .	trace	0,20
	Fer des marais suédois		pléistocène	. . . . .	limonite : 38 à 42	2	. . . .	0,217
GROUPE V. — AU-DESSUS DE 0,8 DE P.		i. *Intercalations dans des roches éruptives.*						
	Kirunavara		précambrien	porphyre	magnét. et oligiste : moyenne : 62,8	. . . . .	0.05	moyenne : 1 58
	Iron Mountain		. . . . .	porphyre	hématite			
		j. *Niveaux sédimentair. divers*						
	Gellivara		précambrien	gneiss	hém. et mag. : 60 à 65	traces	. . .	0 à 2
	Grängesberg		précambrien	gneiss	hém. et mag. ; 55 à 65	0,10	0,01	
	Saint-Rémy		silurien	calcaires	hém. et sidér. : 47	0,30	. . . .	0,60 à 1
	Nucic		silur. infér.	schistes	hématite	. . . . .	. . .	0,60 à 1
	Bassin de la Ruhr		carbonifère	schistes	sidérite : 40			
	Bassin de la Loire		carbonifère	schistes	sidérite : 40			
	Meurthe-et-Moselle		toarcien	calcaires	limonite : 38 à 42	. . . . .	. . . .	0,87
	Nièvre		bajocien	calcaire	limonite : 35 à 45	. . . . .	. . . .	teneur sensible
	Fer des marais de Schleswig		pléistocène	. . . . .	limonite : 38 à 42	3	. . . .	1,51
	Fer d. m. de Leipzig		pléistocène	. . . . .	limonite : 38 à 42	3,5	. . . .	4,7

1. Le minerai de la Tafna est très pur, mais les schistes encaissants sont notablement phosphoreux.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

arrive de voir la teneur se modifier complètement d'un point à l'autre sans cause apparente. Cependant il semble que la vérité commence à se dégager quand on dresse, comme nous l'avons fait, un tableau (n° 25) où les minerais seront, par exemple, divisés, d'après leur teneur moyenne, en cinq catégories : I. au-dessous de 0,02 de phosphore ; II. entre 0,02 et 0,05 ; III. entre 0,05 et 0,1 ; IV. entre 0,1 et 0,8 ; V. au dessus de 0,8, et quand on cherche si ce groupement correspond à une classification métallogénique[1]. On constate aussitôt, pour chacun de ces groupes, quelques faits intéressants.

Groupe I. — Les minerais les plus purs en phosphore, qui sont recherchés pour l'acier Bessemer, appartiennent à quelques types métallogéniques bien caractérisés, où semblent s'accuser, en dehors de toutes les réactions primitives, deux influences secondaires essentielles : intervention purifiante des calcaires avec métamorphisme ou métasomatose ; purification progressive par les altérations superficielles.

a) Le phosphore est absent dans toute une série de minerais encaissés au milieu des terrains métamorphiques et cristallophylliens, en Scandinavie, à Mokta, à Krivoïrog, etc., soit que ce phosphore y ait fait défaut dès le début, soit qu'il ait été éliminé par le métamorphisme, comme pourrait le faire croire la localisation fréquente des minerais les plus purs en terrains calcaires. C'est un point, sur lequel nous reviendrons bientôt en parlant des minerais scandinaves.

b, *c*) On doit également attribuer à la métasomatose une influence épurante dans certains gisements qui, ayant passé (comme la majeure partie d'ailleurs du groupe *a*) par la forme sédimentaire, ont été dans la suite plus ou moins anciennement altérés et silicatés, avec élimination des calcaires qui devaient leur être primitivement associés.

d, *e*) Le phosphore fait à peu près défaut dans tous les minerais résultant d'une substitution en terrain calcaire ayant passé par la forme carbonatée et dont l'origine première est filonienne (sulfures, ou peut-être, plus exceptionnellement, chlorures ou carbonates). Quand un minerai oxydé provient de pyrites altérées, il n'a aucune raison pour renfermer du phosphore, et, en fait, il n'en contient pas (sauf introduction restreinte par les terrains encaissants). S'il s'est trouvé, d'autre part, bien épuré en soufre par l'altération superficielle, s'il ne renferme pas d'arsenic provenant des mispickels, il constituera un minerai d'excellente qualité, d'autant plus qu'il aura généralement subi un enrichissement parallèle en manganèse. C'est ce qui se produit pour les minerais de Bilbao, l'île d'Elbe, Eisenerz, le Canigou, le Cumberland et le Lancashire, le Banat, etc., où nous retrouvons la même intervention possible des calcaires que dans le cas précédent. C'est cependant à ces calcaires eux-mêmes que l'on doit attribuer les faibles teneurs en phosphore constatées parfois dans de tels minerais.

De simples chapeaux de filons peuvent rentrer dans le même cas.

[1] Rappelons que l'on passe du phosphate à l'acide phosphorique en multipliant par 0,458, de l'acide phosphorique au phosphore en multipliant par 0,436, ou. inversement du phosphore à l'acide phosphorique en multipliant par 2,29, de l'acide phosphorique au phosphate de chaux en multipliant par 2,18.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Enfin on trouvera peu ou pas de phosphore dans certains minerais de ségrégation basique, qui, il est vrai, compenseront parfois cet avantage par une teneur gênante en titane.

Groupes II et III. — Les minerais intermédiaires se présentent dans des conditions de gisement analogues à celle du groupe I, mais avec une teneur en phosphore plus forte, dont on retrouve parfois l'origine dans les terrains encaissants : ainsi dans les schistes contigus au minerai de la Tafna.

Groupes IV et V. — Au contraire, le phosphore abondant paraît avoir été introduit dans les minerais de fer par deux voies différentes. Le premier cas, le plus fréquent et celui aussi dont l'explication apparaît la plus simple, correspond aux minerais sédimentaires, non métamorphisés et peu ou point altérés superficiellement : par exemple, dans le groupe IV, les minerais siluriens du Thüringer Wald et de Clinton (N.-Y.), les minerais liasiques du Cleveland, hettangiens de Mazenay, éocènes du Berry, pléistocènes des marais suédois ; dans le groupe V, les oolithes siluriennes de Saint-Rémy en Calvados ou de Nucic en Bohême, les minerais carbonifères de la Ruhr et de la Loire, les minerais toarciens de Meurthe-et-Moselle, bajociens de la Nièvre, pléistocènes des marais du Schleswig.

Tous les autres sédiments ferrugineux non altérés renferment également un peu de phosphore. Celui-ci y représente, comme dans la plupart des sédiments quelconques, les organismes déposés sur le fond marin, en même temps que les matières clastiques associées au fer. Tout sédiment renferme du phosphore dans la proportion où il contient des organismes et cette proportion a toutes chances pour devenir notable jusqu'à 1 et 2 p. 100 quand le sédiment, formé à faible distance de la côte, est particulièrement chargé de coquillages et d'organismes. C'est ce qui s'est produit pour la plupart des minerais de fer oolithiques, dont nous aurons maintes fois à signaler la richesse en fossiles (minerais toarciens, bajociens, etc.), comme pour les fers des lacs et des marais. Le caractère semble même assez constant pour pouvoir permettre de distinguer un sédiment originel d'un produit de substitution ultérieure.

Cette origine organique attribuée au phosphore des sédiments correspond à sa dissémination normale dans tous les tissus organisés, qu'ils soient végétaux ou animaux et au rôle important que ce phosphore joue par suite dans l'activité vitale. Quand nous apportons du phosphore aux cultures de nos champs en craies, nodules, ou même scories de déphosphoration, nous ne faisons ainsi le plus souvent que restituer aux organismes ce que des organismes antérieurs avaient commencé par puiser dans le sol pour le concentrer en eux.

Il est, d'ailleurs, évident que cette concentration locale du phosphore a été influencée par des phénomènes de courants littoraux, de conditions de vie marine, etc., difficiles à démêler après coup et comparables à celles qui ont, à un degré supérieur, amené, dans les craies phosphatées ou les argiles à nodules, une richesse en phosphate utilisable par elle-même.

Mais il existe un groupe important de minerais ferrugineux, où une telle origine du phosphore est discutable, ou même certainement inexacte, ce sont ceux qui se présentent à l'état cristallisé, encaissés

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans les terrains cristallophylliens, ou associés à certaines roches éruptives, comme les porphyres : gisements dont les deux types les plus représentatifs sont Gellivara et Kirunavara en Suède.

Pour le type de Gellivara, il y a lieu à contestation. Ces minerais sont, comme nous le verrons, très probablement attribuables en grande partie au métamorphisme exercé sur d'anciens dépôts sédimentaires : et il est donc possible que l'on ait affaire parfois à des sédiments à la fois ferrugineux et phosphoreux dans les conditions examinées plus haut, comme le sont les sédiments siluriens de Normandie ou jurassiques de Lorraine. Mais, à côté de ces types phosphoreux, les terrains cristallophylliens de Scandinavie renferment, on le sait, dans des conditions analogues, des minerais de fer particulièrement purs en phosphore. Quand nous étudierons plus tard l'ensemble de ces gisements scandinaves, nous nous demanderons s'il n'existerait pas là, dans un groupe de terrains ayant pris un même aspect cristallin par un commun retour en profondeur, des gisements de fer ayant pu avoir, avant ce retour en profondeur, les types les plus divers : absolument comme si, la superficie actuelle étant ramenée en profondeur par un phénomène orogénique, les divers affleurements ferrugineux actuels étaient tous recristallisés.

Par exemple, on est conduit à rechercher si, en dehors des sédiments ferrugineux proprement dits, il n'y aurait pas eu des amas de substitution dans des calcaires, que représenteraient, par exemple, les amas du type Dannemora. La forte teneur en manganèse que présentent ces minerais et qui est si habituelle d'autre part dans les substitutions altérées, correspond bien à cette idée. Si cette hypothèse est à rejeter, il faut attribuer à l'opération même du métamorphisme en milieu calcaire, comme je l'ai depuis longtemps proposé, ce fait très frappant que les minerais cristallins encaissés dans des calcaires sont généralement les plus purs en phosphore, tandis que le phosphore abonde dans la même région en milieu siliceux. Il y aurait eu là une sorte de déphosphoration basique.

Pour quelques gisements différents, qui amènent peu à peu au type Kirunavara, l'origine du phosphore semble tout autre, et nous la rattachons nettement au phénomène interne originel ou à l'action métamorphisante même, qui s'est traduite par des apports feldspathiques dans des conditions analogues à celles des venues granulitisantes. On sait combien l'apatite est un élément fréquent de certaines roches cristallines, notamment dans tout un groupe auquel appartiennent nos granulites, et nous verrons, à l'occasion de l'étain, qu'il en résulte l'association fréquente de phosphates divers avec des filons stannifères. Comme cas extrême, c'est bien, semble-t-il, à une venue interne de ce genre qu'est due l'abondance anormale du phosphore dans les magnétites du type Kirunavara, très probablement dérivées par ségrégation d'un magma porphyrique relativement acide. On retrouve cette forte teneur en phosphore, avec la même dissémination du phosphore dans l'oxyde de fer, pour d'autres gisements analogues et présentant la même condition de ne pas se trouver au contact d'un calcaire, tels que le mont Lébiéjaya dans l'Oural, ou, sur une échelle beaucoup plus restreinte, pour de petits filons comme ceux d'Iron Mountain encaissés dans un porphyre.

Afin de préciser ce qui vient d'être dit dans un cas où le problème du

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

phosphore se pose avec un intérêt tout spécial, nous croyons utile de discuter maintenant à ce propos les lois réglant la distribution du phosphore dans les minerais scandinaves, où, d'une façon générale, ces minerais offrent une commune structure cristalline.

Nous venons déjà de citer deux des lois les plus caractéristiques à cet égard : pureté en phosphore dans les minerais associés à des calcaires ou dolomies ; enrichissement du phosphore par granulitisation. Nous avons vu également que les ségrégations en milieu acide sont fréquemment phosphoreuses. Au contraire, les ségrégations de titano-magnétite ou de fer titané en milieu basique semblent très généralement pauvres en phosphore. Voici comment se présente l'ensemble des faits.

En Scandinavie, il existe, à côté des minerais remarquablement purs en phosphore, qui ont été spécialement recherchés autrefois, comme ceux de Dannemora, Norberg, Persberg, etc., des minerais, au contraire, très phosphoreux. Ainsi, à Gellivara, où les gisements peuvent couvrir 438 000 m², les 2/10 tiennent de 0,011 à 0,196 p. 100 de phosphore, 1/10 est entre 0,152 et 0,85 (moyenne 0,40) et les autres 7/10 de 0,18 à 4 (1 à 22 p. 100 d'apatite). A Kirunavara, dans une forme de gisement différente, un tiers des minerais dépasse 3 p. 100 de phosphore, un autre tiers seulement reste au-dessous de 0,1. La moyenne contient environ 1 à 2 p. 100. A Norberg, les minerais secs, c'est-à-dire siliceux, atteignent encore 0,027 de phosphore, tandis que, suivant une loi précédemment énoncée, les minerais à gangue calcaire descendent à 0,002.

Cette teneur en phosphore est répartie dans les minerais de fer scandinaves avec une grande irrégularité. A Kirunavara, où le phosphate n'apparaît généralement pas à l'œil nu, mais est dispersé en grains très fins dans la masse d'une magnétite elle-même très compacte, cette irrégularité est poussée à l'extrême et entraîne de grandes difficultés de triage. A Gellivara, où l'apatite est particulièrement bien isolée et concentrée en cristaux volumineux de mêmes dimensions que ceux de magnétite ou d'oligiste, on sépare bien plus aisément les minerais par catégories à teneurs diverses en phosphore. En outre, dans une même lentille, la teneur reste relativement plus constante. Mais il n'en existe pas moins, d'un point à l'autre, des variations très sensibles.

Indépendamment du phosphate presque invisible et finement disséminé, ou du phosphate cristallin et grenu, on observe encore, dans la plupart des gisements riches en phosphates, tels que Kirunavara, Gellivara ou Grängesberg, des nids, des amas, des filons proprement dits d'apatite, tantôt, comme nous l'avons vu tout à l'heure, associés à des granulites, tantôt isolés au moins en apparence et indépendants.

Cette répartition du phosphore est, nous l'avons dit, influencée par des causes extrêmement complexes. Nous nous contenterons encore de citer deux ou trois observations relatives à des variations, qui offrent une apparence théorique, sans vouloir en tirer des conclusions générales, probablement injustifiées.

A Tingvalls kulle de Gellivara, par exemple, les bancs les plus phosphoreux sont au mur, où existent de grosses veines d'apatite, atteignant 0,10 m. ou 0,15 m. ; les parties du toit sont plus pures et, si l'on s'éloigne

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des premiers bancs de minerais dans la direction du toit, on arrive, après une intercalation de roches gneissiques stériles en fer, aux couches de Kapten, qui sont peu phosphoreuses.

De même, à Grängesberg, la zone la plus pure est celle des couches minces, qui se trouve au mur, notamment vers le Sud-Ouest, tandis que les grands amas du Nord-Ouest sont particulièrement phosphoreux.

De même encore à Norberg, la zone la plus phosphoreuse, celle des minerais siliceux, est celle qui se trouve au mur, le plus près du granite, tandis qu'en s'écartant vers le toit des couches, dans la direction de l'Ouest, on trouve des minerais plus purs, associés au calcaire.

Il serait d'autant plus téméraire de vouloir tirer de ces faits une loi théorique quelconque que, par suite des renversements possibles, nous ne saurons jamais en réalité si le toit actuel des couches correspond bien au toit primitif et n'était pas, au contraire, le mur à l'époque du dépôt. La seule chose qu'il est peut-être permis de retenir de l'ensemble des faits, c'est l'existence assez fréquente de strates déterminées et continues, ou particulièrement phosphoreuses, ou spécialement pures : ce qui semblerait bien correspondre avec l'hypothèse sédimentaire, que nous avons adoptée relativement à ces dépôts ferrugineux.

En résumé, si nous cherchons à synthétiser dans un énoncé sommaire les lois qui peuvent régler l'association du phosphore et du fer, nous arrivons aux faits suivants :

1° Le phosphore doit, dans le milieu interne d'où proviennent originairement les roches, exister en association avec le fer, comme doivent exister également, dans ce même bain métallique, les autres métalloïdes, tels que le chlore, le soufre, le carbone et l'hydrogène. Une preuve de cette association originelle avec le phosphore semble donnée par les météorites, où l'on constate parfois un phosphure de fer, nickel et magnésium, la Schreibersite [1] accompagnant le fer, le nickel, le fer chromé, la pyrrhotine, la pyrite de fer et le graphite.

On peut également en retrouver un indice dans certaines ségrégations basiques.

2° Les opérations métallurgiques internes de scorification et de ségrégation, qui produisent les roches, ont une tendance à faire passer le phosphore en combinaison avec la chaux toutes les fois que celle-ci se présente ou, plus exceptionnellement, avec l'alumine ; et cette association avec la chaux, dans laquelle interviennent nécessairement le fluor ou le chlore, est accompagnée d'une sorte de pneumatolyse, en sorte qu'il paraît y avoir épuration en phosphore dans les ségrégations basiques proprement dites (Taberg, Routivara, Ekersund, etc.), tandis que le phosphore peut exister abondamment quand l'opération se fait, en

[1] Par exemple, une météorite d'Admire (Lyon County) contenait, dans ses parties ferrugineuses : 98,273 de fer nickélifère, 1,645 de schreibersite et 0,082 de troilite (FeS) (1902, MERRIL, Proc. Un. St. Museum, Washington). MALLARD a signalé (Bul. Soc. min., t. 4, p. 230), l'analogie de ce phosphure de fer avec celui qui s'est produit dans les roches vitrifiées dues aux incendies des houillères de Commentry et qu'accompagne là parfois un peu de phosphate de fer, ou vivianite. Les phosphates de fer hydratés (vivianite, dufrénite, cacoxène) ne sont que des raretés minéralogiques.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

milieu acide, avec commencement de départ, comme à Kirunavara [1].

3° Le départ chloro-fluoré, qui caractérise certains groupes de gisements métallifères, les filons d'étain par exemple, a été souvent accompagné d'une cristallisation simultanée du phosphore, dont l'origine, dans ce cas, paraît bien être dans le milieu interne, comme pour les oligistes phosphoreux et magnétites associés aux albitophyres de Kirunavara. On trouve alors, dans les filons d'étain, en même temps que des minéraux ferrugineux, tous les phosphates d'alumine, chaux, etc. On peut rattacher à la même origine et considérer comme un apport de fumerolles chloro-fluorées émanées des granulites, les introductions d'apatite qui, dans certains gisements scandinaves, quelle que soit d'ailleurs leur origine première, semblent accompagner et suivre certains filons de granulite.

4° Par contre, si le fer, au lieu de cristalliser par l'intervention probable des chloro-fluorures, a été déposé à l'état de sulfures, comme dans les amas filoniens, filons hydrothermaux concrétionnés, etc., le phosphore fait généralement défaut, bien qu'il puisse apparaître localement sur les affleurements altérés de tels terrains (phosphates de plomb, cuivre ou fer), par l'intervention probable des sédiments adjacents.

Il ne semble pas non plus que le départ présumé du fer à l'état de fumerolle carburée (carbures internes) ait entraîné du phosphore.

5° Quelle que soit l'origine d'un minerai de fer, lorsqu'il s'est trouvé en contact avec un calcaire dans des réactions de métamorphisme ou de métasomatose, qui faisaient généralement agir l'acide carbonique comme dissolvant, il peut y avoir eu élimination du phosphore à l'état de phosphate de chaux dissous dans un excès d'acide carbonique, et le minerai de fer au contact a souvent acquis une pureté remarquable en phosphore. Pour une cause ou une autre, presque tous les minerais de fer purs en phosphore sont encaissés dans des calcaires et beaucoup d'entre eux sont, en même temps, riches en manganèse.

6° Le phosphore passe dans des corps organisés et l'intervention des organismes a, par conséquent, pour effet de fixer et de concentrer du phosphore dans les sédiments. Il en résulte que la presque totatité des minerais de fer réputés sédimentaires sont, ou du moins ont été un moment, notablement phosphoreux. Ici la circulation des eaux, au lieu d'épurer en phosphore, a parfois pour conséquence ultérieure la concentration du phosphore sur les restes organisés, qui fixent aussi tant d'autres éléments, silice, pyrite. Ce phosphore des sédiments peut ensuite être introduit par endomorphose dans des roches ignées, passer dans des sédiments postérieurs, etc.

Cependant certains minerais, où la métasomatose a été poussée jusqu'à une silicification complète, comme les minerais du lac Supérieur, les agatisés de Privas, semblent très purs.

[1] Clarke a estimé à 0,09 p. 100 la teneur moyenne en phosphore de l'ensemble des roches. Cette teneur ne descend guère au-dessous de 0,005 et monte assez fréquemment à 1 p. 100. Une forte partie de ce phosphate peut provenir de sédiments absorbés et refondus.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Carbone[1]. — La présence d'une petite quantité de carbone dans les minerais de fer a seulement un intérêt théorique. On en a constaté dans les météorites ferrugineuses. On trouve du bitume dans certains minerais de fer scandinaves et j'ai signalé autrefois la réduction en magnétite opérée sur l'oligiste le long de ces veines à hydrocarbures.

Soufre. — Le soufre des minerais de fer provient toujours de sulfures métalliques ; et, parmi ceux-ci, le plus habituel à rencontrer dans un gisement de fer est naturellement le sulfure de fer ; mais il peut exister aussi du mispickel, de la chalcopyrite, de la blende, de la galène ; et la résistance plus grande à l'altération de ce dernier minerai fait même qu'on le voit parfois subsister en traces dans des minerais, où la pyrite a presque totalement disparu.

Dans cette question du soufre, il convient d'établir aussitôt une distinction entre la pratique et la théorie. Pratiquement, les minerais de fer perdent vite leur valeur lorsqu'ils sont sulfureux. On est donc amené à laisser de côté bien des minerais qui offrent ce défaut ; et, lorsque la distinction entre ces minerais et ceux où le soufre est absent peut se faire facilement (ce qui est fréquent, pour des raisons indiquées plus loin), on arrive à négliger et à méconnaître la présence des minerais sulfureux, en sorte que ceux-ci peuvent être considérés comme manquant dans des mines, où la pyrite est, au contraire, géologiquement assez abondante. Il suffira de citer, à cet égard, le cas de l'île d'Elbe, celui de certains gisements pyrénéens, les couches profondes de Lorraine, etc.

Au moment du dépôt primitif, le sulfure de fer s'est déposé en même temps que les autres sels de fer, dont peuvent résulter les oxydes actuels. S'il s'agissait d'un gisement filonien, ce sulfure devait même dominer. Dans le cas d'un sédiment, la présence de sulfates en dissolution à côté de matières réductrices et de fer a dû fréquemment aussi, mais en quantités moindres, produire de la pyrite. Si donc le soufre n'est pas plus constant dans nos minerais de fer, si même il fait presque totalement défaut dans certains d'entre eux, c'est qu'il a été éliminé par les actions d'altération superficielle et de substitution, dont nous avons déjà vu l'influence en ce qui concerne le phosphore. C'est sur ce phénomène que nous devons insister.

La pyrite, en présence d'une eau chargée d'oxygène, comme le sont toutes les eaux circulant au voisinage de la surface, se dissout sous la forme de sulfate de fer, sauf à se reprécipiter partiellement en peroxyde. Si le terrain encaissant est calcaire, il se produit, dans une zone un peu plus profonde, du carbonate de fer, qui, à son tour, se transforme superficiellement en limonite. Ces réactions ont donc pour effet d'éliminer le soufre, sauf à ce qu'une partie de ce corps se retrouve en sulfate de chaux. Les minerais de fer pyriteux sont ceux dans lesquels ces réactions n'ont pas encore eu le temps de s'opérer, soit parce que l'érosion les a atteints trop récemment, soit parce qu'ils se trouvent au-dessous

[1] 1893. Nordenskiöld. *Sur le fer natif d'Ovifak et sur le bitume des roches cristallines de Suède* (C. R., p. 677). — 1900. Lœwe. *Vorkommen von Anthracit in nassauischem Rotheisenstein* (Z. f. pr. G., p. 341).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

du niveau hydrostatique, ou du moins très près de ce niveau, dans une zone à circulations lentes, où l'oxygène se renouvelle peu. De toutes façons, on devra toujours s'attendre à voir la proportion de soufre s'augmenter dans un gisement de fer filonien quand on s'y enfonce assez.

Dans les sédiments ferrugineux, il semble que la pyrite de fer ait joué un rôle très subordonné : les minerais prédominants à l'origine ayant été des carbonates ou silicates de protoxyde. Néanmoins il se dépose constamment de la pyrite au fond des eaux qui renferment des matières organiques réductrices. Un peu de cette pyrite peut donc se retrouver aujourd'hui dans certains sédiments ferrugineux, quand ceux-ci sont assez profonds pour n'avoir pas subi l'action épurante de la surface.

Arsenic. — La présence de l'arsenic dans un minerai de fer peut constituer une gêne telle que le minerai soit pratiquement inutilisable. C'est ce qui s'est produit, jusqu'ici, pour les minerais de Tabarka, en Tunisie, dont il sera question plus loin. Cependant ces fortes teneurs en arsenic sont relativement rares. Il est évident qu'elles proviennent de mispickels associés aux pyrites ; et on ne les observe, dès lors, que dans les gisements provenant de venues sulfurées, ou plutôt sulfo-arsenicales filoniennes soumises à l'altération. Nous citerons incidemment, à ce propos, les mimétèses, qui se sont développées dans certains gisements plombo-zinco-ferrifères altérés et qui renferment fréquemment des traces d'or[1].

Titane. — Nous avons donné plus haut des indications générales sur la métallogénie du titane, d'où il résulte que ce corps existe très fréquemment associé au fer dans les magmas de ségrégation[2]. Sa teneur peut alors atteindre 14 p. 100 comme à Routivara et rendre le minerai de fer pratiquement à peu près infusible. Un assez grand nombre de magnétites associées à des roches basiques passent à des titano-magnétites ; et l'on trouve, dans les mêmes conditions. des fers titanés avec l'oligiste. Ces gisements, pour des raisons énoncées plus haut, sont généralement purs en phosphore comme en soufre. Dans un cycle ultérieur, ce titane passe dans les produits de la destruction des roches et arrive dans les argiles. Il n'est guère de schiste, de bauxite, etc., qui ne renferme des quantités appréciables de titane. Les minerais, qui se sont formés dans les mêmes réactions, sont fréquemment aussi titanifères : sédiments associés à des argiles ou marnes ; minerais d'altération continentale, comme les fers en grains du Berry, qui passent progressivement à des bauxites ferrugineuses, puis à des bauxites proprement dites.

Manganèse. — Le manganèse est, parmi les corps, dont quelques traces associées au fer améliorent ses qualités, le plus important. Bessemer, après les premiers essais malheureux qui marquèrent d'abord les applications de sa découverte, a montré la nécessité d'ajouter du manganèse à la fonte comme d'y éviter toute trace de phosphore.

Les propriétés du manganèse sont assez voisines de celles du fer pour qu'un peu de manganèse accompagne à peu près partout le fer,

[1] On a de même des réalgars aurifères.

[2] Voir, au chapitre du Titane, les cycles de cet élément.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

aussi bien dans les sédiments que dans les ségrégations et les filons. Mais il est rare que cette teneur en manganèse soit suffisante pour prêter de la valeur au minerai, si celui-ci ne résulte pas d'une altération superficielle, de préférence en milieu calcaire. Nous verrons plus tard, à l'occasion du manganèse, comment toutes les réactions de surface ont pour effet d'accroître fortement la teneur relative de ce métal par rapport au fer. Ainsi se sont formés tant de minerais de pyrolusite sur les affleurements d'amas pyriteux, ou de filons à sulfures complexes, au Laurion ou à Milos comme dans la province d'Huelva. Spécialement en terrain calcaire, on a des formations comme les sidérites manganésifères du groupe de Batère au Canigou, comme les pyrolusites de Capo d'Arco, à l'île d'Elbe. En outre, la seule altération de roches ou de terrains, tels que les sédiments ferrugineux, peut aussi aboutir à la formation de pyrolusite, ou, si un peu de baryte se trouve présente, de psilomélane. Cette réaction, qui produit les petites boules noires de pyrolusite éparses dans tant de terrains superficiels, ou les dendrites manganésifères sur les diaclases de nos roches, a pu également constituer des minerais de fer manganésifères, passant à de véritables oxydes de manganèse.

Cobalt. — Le cobalt existe dans les segrégations basiques avec le nickel et le fer. Nous verrons plus tard comment ce métal se développe, en outre, dans des conditions presque identiques à celles qui amènent la concentration du manganèse. On ne doit donc pas être étonné d'en retrouver des traces dans certains minerais de fer d'altération.

Chrome. — Quelques minerais des roches basiques renferment un peu de fer chromé, qui peut leur donner des qualités spéciales s'il est en proportion suffisante, atteignant 6 à 7 p. 100 de chrome. De plus faibles teneurs initiales en chrome nuisent, au contraire, à la valeur d'un minerai; et certains minerais à 2 p. 100 de chrome, tels que ceux, par exemple, rencontrés en grandes masses dans les latérites sur la ligne de Conakry, sont rendus par là inutilisables. Les Américains réussissent néanmoins, paraît-il, à passer par petites quantités des minerais de même teneur, venant de Cuba.

Vanadium. — Le vanadium, dans les réactions qui aboutissent à la concentration du fer, suit fidèlement le phosphore, qui accompagne lui-même le fer. De la sorte, partant de roches primitives à très faible teneur en vanadium, on aura des minerais de fer plus riches en vanadium donnant des scories encore enrichies.

Métaux divers : cuivre, zinc, plomb. — Certains métaux, comme le cuivre, interviennent assez fréquemment dans les gisements de fer, quand ceux-ci dérivent de roches basiques, ou ont été soumis au métamorphisme. Comme types du premier cas, nous verrons l'association si fréquente de la magnétite et de la chalcopyrite dans les gîtes du type Traverselle, l'intervention d'autres sulfures complexes dans les gîtes du type Banat. Les filons du groupe Allevard montrent la même association. Enfin les sédiments métamorphiques fournissent quelque

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chose d'analogue. En Scandinavie, le cuivre, le zinc, le plomb paraissent souvent avoir été introduits après coup (Dannemora, Svappavara, etc.). Le cuivre se trouve en traces à Norberg, à Grängesberg, à Gellivara, et il existe, à Norberg comme à Dannemora, un vrai gîte de sulfures métallifères (galène, etc.) au contact du minerai, où sa présence peut ne pas être purement accidentelle.

On peut rappeler, d'ailleurs, à ce propos, l'intervention fréquente de la chalcopyrite dans des gisements de pyrite faiblement cuivreuse qui, ont pu eux-mêmes parfois être ultérieurement peroxydés.

D. — DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES MINERAIS DE FER

La distribution des minerais de fer à la surface de la Terre doit, comme toute autre concentration métallifère, avoir obéi à des lois plus ou moins compliquées, que l'on peut se proposer de rechercher. On peut, à cet égard, distinguer d'abord les trois grandes catégories de gisements qui, vont être étudiées bientôt (ségrégations, filons, sédiments) pour en tirer ensuite des conclusions générales.

1° Les *ségrégations*, phénomène caractéristique des roches basiques, sont, en principe, un phénomène de profondeur, qui a plus de chances pour apparaître au jour dans les parties du globe les plus anciennement consolidées, où, par suite, l'érosion a eu le temps d'exercer son maximum d'effet. Dans notre hémisphère, ces ségrégations sont, par suite, caractéristiques des régions boréales, où se trouvent les principales plates-formes primitives ; et il est même permis de se demander, comme nous allons le dire, si cette abondance spéciale de ségrégations ferrugineuses n'aurait pas contribué, en outre, à mettre en mouvement dans les bassins de sédimentation des périodes archéennes ou primaires, une quantité particulièrement abondante de fer, dont nous aurions la trace sous une autre forme dans les si abondants gisements de fer à minerais cristallins associés aux terrains archéens de ces mêmes régions.

2° Les *filons* de fer ne jouent, par eux-mêmes, comme nous le verrons, qu'un rôle industriel insignifiant, à moins que leur altération superficielle, précédée ou non par une substitution en terrain calcaire, n'ait concentré, en des amas relativement restreints, le fer tout d'abord disséminé dans un gisement étendu. Ces altérations, surtout caractéristiques de la période continentale actuelle, doivent être particulièrement abondantes là où cette altération a pu s'exercer le plus facilement, par conséquent là où le niveau hydrostatique est le plus profond et, dès lors, là où le relief du sol est resté le plus accidenté. Nous arrivons donc ici à une conclusion précisément inverse de celle qui s'imposait à nous pour le premier groupe de gisements. Les types dont il est question maintenant devront se trouver le long des chaînes de plissement récentes : par exemple en Asie, le long des chaînes alp-hymalayennes, ou, plus spécialement, en Europe et dans le Nord de l'Afrique, dans le bassin méditerranéen (zone pyrénéenne, Italie, Alpes, Algérie et Tunisie, etc.).

3° Enfin les principaux *sédiments* devront à première vue se trouver de préférence dans une zone intermédiaire. On peut les considérer comme

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ayant été produits par le déplacement de sels de fer empruntés par l'érosion à une chaîne antérieurement plissée. Nous devrons donc les rencontrer le long de telles chaînes dans la période consécutive des plissements ; et, comme, en Europe, ces plissements ont, en moyenne, reculé du pôle vers l'équateur avec le temps, les sédiments ferrugineux auront dû suivre une marche analogue et nous apparaître en moyenne d'autant plus récents que nous descendons vers le Sud.

Les plus anciens, ceux associés aux facies archéens, sont, nous venons déjà de le dire, dans notre hémisphère, presque localisés dans les régions boréales, et il est remarquable qu'on n'en trouve presque aucun équivalent dans les terrains à facies analogues, mais probablement plus jeunes, qui occupent de si grandes surfaces en France, Allemagne, Espagne, etc., le long de la chaîne hercynienne. Puis les minerais si importants du silurien, du carbonifère, du jurassique se trouvent le long de la zone influencée par les mouvements calédoniens et hercyniens, dont les rides détruites ont pu contribuer à les former. Et le peu de sédiments analogues que nous rencontrerons dans la période tertiaire, à Kertch, etc., est encore plus au Sud, en se rapprochant de la zone de plissements alpestres, associé avec d'autres sédiments métallifères, dont l'origine doit être bien analogue, les minerais de manganèse du Caucase.

E.— PRINCIPAUX TYPES DE GISEMENTS. — ORDRE DES DESCRIPTIONS

La métallogénie du fer peut se résumer, en quelques mots, de la manière suivante :

Le fer, d'abord inclus dans les roches, a pu : 1° se ségréger en magnétite dans des roches basiques ou neutres ; 2° se différencier davantage dans des roches plus acides ou plus superficielles du type des porphyres, soit en chlorures ayant donné des oligistes plus ou moins réduits en magnétite comme ceux de Kirunavara et de l'Oural, soit en sulfures qui jouent un grand rôle dans les imprégnations formant auréoles de métamorphisme au granite, à l'état de pyrites aurifères. Ces imprégnations ont pu arriver à constituer des amas. 3° Il a pu y avoir départ filonien plus accentué, donc sous une forme plus soluble, de sulfure, ou peut-être, accessoirement, de carbonate, avec formation de gisements de substitution très importants dans les calcaires. Après quoi, 4°, le tout a été altéré superficiellement, ensuite sédimenté, ou introduit dans les sédiments préexistants et de nouveau parfois soumis à des phénomènes d'altération.

Suivant la classification générale que nous avons adoptée, nous allons étudier successivement les principaux types de gisements ferrugineux, en commençant par ceux qui accusent le rapport le plus intime avec les roches mères pour nous éloigner de celles-ci de plus en plus.

Nous commencerons ainsi par les *inclusions*, où les oxydes de fer jouent le même rôle que les autres éléments constituants des roches : magnétite en grains dans des roches basiques, mouches ou noyaux d'oligiste dans des roches acides.

Nous passerons ensuite aux *ségrégations*, ou différenciations, dont les

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

types authentiques, où la pneumatolyse est réduite à son minimum, sont les amas de magnétite souvent titanifère englobés dans les roches basiques.

Mais il peut également se présenter, soit dans les roches acides, soit au contact immédiat de celles-ci, des gisements en amas, qui diffèrent des ségrégations proprement dites par un commencement de départ sous l'influence des agents volatils et qui présentent ainsi toutes les transitions depuis des amas englobés dans les roches presque à la façon des ségrégations basiques jusqu'à des gîtes presque filoniens. Les variétés de ces transitions et leur multiplicité feront que nous ne nous attacherons pas, dans le détail, à séparer rigoureusement les cas, lorsqu'il y aura avantage, au contraire, à grouper les types un peu différents d'une même province métallogénique pour montrer leur unité d'origine.

On remarquera, dans ce groupe, l'apparition de sulfures qui tendent d'autant plus à dominer que l'on se rapproche davantage des types filoniens hydrothermaux. Nous aurons ainsi tous les passages progressifs depuis un gisement où la magnétite renferme un peu de pyrite jusqu'à des associations en proportions analogues de magnétite et de pyrite ou chalcopyrite, conduisant enfin à des cas où la magnétite n'est plus qu'un accident dans une formation sulfureuse : gîte cuivreux, ou même gîte plombozincifère, comme dans le type Pierrefitte.

Parmi les types ainsi dérivés des roches et déjà presque filoniens, quoiqu'accusant un rapport d'origine évident avec les roches éruptives, nous grouperons les *gisements de contact*, dont le Banat représente le type le plus caractéristique.

Nous serons ainsi amenés aux *filons ferrugineux*, les uns constitués par un apport profond, les autres par une sorte de sécrétion latérale superficielle. On rencontre rarement des filons de fer susceptibles de conserver assez de continuité en profondeur avec une extension suffisante pour constituer un gîte utilisable. Mais on peut rattacher au phénomène filonien deux formes de gîtes, très importantes au contraire dans la pratique, qui, tout en se distinguant aussitôt par leur apparence, ont pourtant un lien d'origine incontestable avec les filons. Ce sont d'abord les substitutions dans les calcaires avec oxydation superficielle et ensuite les chapeaux altérés de gîtes filoniens pyriteux.

Nous passerons alors à des gîtes, où la remise en mouvement superficielle joue le rôle principal et dont l'origine est, par conséquent, secondaire. Tantôt cette remise en mouvement des sels de fer a conduit les éléments ferrugineux dans un bassin de sédimentation marin ou lacustre, dans lequel le fer s'est précipité sur des sédiments, soit en même temps qu'eux, soit avec substitution presque immédiate. C'est la très importante catégorie des *gîtes sédimentaires ou stratiformes*, que nous étudierons par ordre d'âge et auxquels nous rattacherons hypothétiquement les minerais cristallins, encaissés dans l'archéen de certaines plates-formes primitives.

Enfin un groupe intéressant de gisements est constitué par les *concentrations continentales* qui, à une époque quelconque de l'histoire géologique, ont pu rassembler le fer sur un pays émergé, mais qui ont surtout exercé leur action à l'époque tertiaire. Nous étudierons donc, en termi-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nant, les formations de ce genre autres que les oxydations superficielles d'affleurements filoniens envisagées dans un paragraphe précédent.

F. — GITES D'INCLUSIONS DANS LES ROCHES

Nous avons établi, entre ce que nous avons appelé les inclusions et les ségrégations, une distinction d'un caractère parfois un peu conventionnel, mais qui nous paraît utile à conserver pour mettre en évidence les stades successifs d'un départ, en raison duquel le fer a été progressivement séparé des roches dans lesquelles il était originellement incorporé.

Ces gîtes d'inclusions correspondent par définition à des cas où le minerai utile se présente dans les mêmes conditions que les autres minéraux constituants de la roche.

Pour le fer, il est fréquent de reconnaître au microscope, dans une roche, la présence de la magnétite ou de l'oligiste. Il ne commence à y avoir gisement que lorsque ces grains de magnétite prennent un certain développement et se multiplient.

Inclusions de fer natif. — Ce premier type, quoique sans aucune valeur industrielle, mérite d'être cité pour son intérêt théorique.

Le *fer natif* a été observé dans une dolérite d'Ovifak (Groënland), associé avec de la viridite, c'est-à-dire avec une matière serpentineuse verte, qui semblait résulter de l'altération du pyroxène, abondant à côté d'elle; le fer lui-même a été considéré là comme secondaire [1].

Mais le fer natif se retrouve surtout, moulant le péridot, dans certaines météorites [2]; il contient alors 20 p. 100 de nickel ; en outre, du chrome, du cobalt, du silicium, du phosphore, du soufre, même de l'hydrogène et renferme des lames de phosphure de fer qui donnent, par attaque aux acides, les figures connues sous le nom de figures de Widmanstœtten.

Inclusions de magnétite dans les roches cristallines. — Le fer oxydulé se présente dans presque toutes les roches et dans les deux stades de consolidation. Les cristaux du premier stade, plus volumineux que ceux du second, sont des premiers consolidés. Dans les roches granitoïdes, le fer oxydulé est exclusivement du premier stade ; dans les roches trachytoïdes, des deux. Le pyroxène, l'amphibole, le mica noir, et même les feldspaths, contiennent une abondance particulière de fer oxydulé et s'entourent de ses cristaux comme d'une auréole. D'ailleurs, le fer oxydulé apparaît souvent comme résultat d'actions secondaires sur la hornblende ou l'augite et, à son tour, se décompose en limonite.

Parfois, cette magnétite devient assez abondante pour que la roche encaissante puisse, surtout après érosion et préparation mécanique natu-

[1] 1872. Voir CHANCOURTOIS. (B. S. G. F., 19 février, 2e, t. 29, p. 175 et 210). — STEENSTRUP. *Ueber das Metalleisen aus Grönland* (Deutsch. geol. Gesells., t. 35, p. 695). — 1893. NORDENSKIÖLD. *Le fer natif d'Ovifak* (C. R., p. 677). — 1901. SCHWANKE. *Ueber ein Vork. von gediegenem Eisen, bei Ofleiden* (Zentralbl. f. Min., p. 65 à 71).

[2] Les météorites, on le sait, contiennent du phosphore, du soufre et du chlore, auquel on peut attribuer un rôle dans les cristallisations de fer. On y trouve également de l'hydrogène, signalé d'abord par Graham.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

relle à l'état de sable dans les rivières ou sur les plages, constituer un minerai.

Ce type de gisements a dû jouer un rôle important dans les métallurgies primitives. La destruction de semblables roches par les érosions constitue des sables à magnétite, qui ont pu être lavés comme des sables aurifères, platinifères ou stannifères pour obtenir un minerai riche et de bonne qualité. Après un long abandon, on est conduit aujourd'hui, par une nouvelle évolution sidérurgique, à rechercher des plages où de semblables produits se sont accumulés, afin d'en tirer un minerai propre à l'électro-métallurgie.

Nous avons signalé ailleurs des gisements de ce genre en divers points de l'Asie : côtes de la mer d'Okhotsk ; Japon ; Khasi hills et Jaintra hills, près du plateau de Shillong, dans la région himalayenne, bords de la Caspienne et de la mer Noire[1].

Cette dernière région d'*Arménie*, assez riche en minerais de ce genre entre Batoum et Poti et le long du Kalopotamos, présente un intérêt historique par le rôle que de tels minerais ont dû jouer dans l'antique métallurgie des Khalybes, regardés par les anciens comme les inventeurs de la sidérurgie.

Au *Japon*, on exploitait encore, il y a une quarantaine d'années, des minerais analogues dans le district de Sisso, province de Harima. Il existe là un granite tenant 2 p. 100 de magnétite titanifère à 6 p. 100 d'acide titanique. Par lavage et préparation mécanique de ce granite décomposé, on arrivait à obtenir un minerai, que l'on fondait dans de petits bas-foyers et dont on tirait, vers 1870, environ 200 t. de fer par an[2].

Ailleurs, au Japon, on a encore des minières de fer, telles que celles de Sugaya, au Sud de Shimané, sur le 133e degré, où l'on trouve des sables à magnétite titanée sur des granites et roches éruptives décomposés par l'érosion.

Sur les plages du *Chili*, Domeyko a décrit de semblables sables à magnétite.

De même encore en *Nouvelle-Zélande*, on connaît de grandes quantités de sables à magnétite sur la côte de l'île du Nord, près de New-Plymouth. Ces magnétites, qui tiennent souvent environ 10 p. 100 de titane, semblent dériver d'andésites à hornblende détruites et de leurs tufs. D'après Mackintosh Bell, leur cubage serait à évaluer en millions de tonnes.

Nous verrons plus tard, à l'occasion du chrome, que le fer chromé peut se présenter dans des conditions tout à fait analogues.

Inclusions d'oligiste dans les roches acides. — Le fer oligiste, ou hématite rouge, existe dans les deux temps de consolidation des roches et à l'état secondaire. Comme élément de première consolidation, il paraît remplacer une partie du mica dans certains granites. Parfois, il s'associe régulièrement à un mica (Pennsbury, New Providence en Pennsylvanie). Il a été signalé dans presque toutes les roches, diorite, porphyrite,

[1] *Richesses minérales de l'Asie*, 539, 587, 650, 692, 783.

[2] 1874. D. Sevoz. *Traitement du minerai de fer au Japon* (Ann. d. M., 7e. t. M, p. 345).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

andésite, serpentine, trachyte, basalte, surtout dans celles riches en silice. C'est à lui qu'il faut rapporter la coloration rose d'un grand nombre de feldspaths, la couleur brune ou violette de la pâte des porphyres pétrosiliceux.

En quantités plus volumineuses, on sait que des cristallisations d'oligiste se produisent fréquemment dans des bombes volcaniques. D'autre part, nous aurons bientôt à citer un assez grand nombre de cas où paraissent s'être réalisées de véritables ségrégations ferrugineuses au milieu de porphyres acides et des cristallisations d'oligiste au contact de magmas granitiques. Comme cas intermédiaire, on peut citer quelques gisements où des noyaux d'oligiste, particulièrement développés mais sans valeur industrielle, apparaissent dans de semblables roches.

C'est, par exemple, ce qui se produit en plusieurs points de la région caucasique, notamment entre Tiflis et Alexandropol, où un porphyre dioritique renferme, en proportions irrégulières, des paillettes ou même des rognons d'oligiste[1].

L'Ecole des mines possède de même une pegmatite à oligiste provenant du Groënland, près du lac Julian Chaab[2].

G. — AMAS DE SÉGRÉGATION DIRECTE EN RELATION AVEC DES ROCHES BASIQUES

Gisements titanifères dans des gabbros, hypérites à olivine, etc., à Taberg, Kragerö, Lofoten, Routivara, Välimäki, etc.

Généralités. — Les ségrégations représentent, dans certaines roches, des commencements de départ ou de liquation, avec intervention restreinte des principes volatils : phénomènes que l'on a parfaitement étudiés en Scandinavie et aux États-Unis, où il en existe d'excellents types représentatifs. Nous avons, au chapitre IV, donné les lois générales du phénomène et spécialement insisté sur la localisation des ségrégations basiques, qui sont des types de profondeur, dans les régions anciennement consolidées et fortement érodées du globe.

Un phénomène analogue peut, comme nous l'avons dit alors, se produire plus rarement dans certains milieux neutres ou même acides. Ce sont les deux cas principaux que nous allons successivement envisager, en commençant ici par leur forme la plus fréquente : celle des amas dans les gabbros ou hypérites à olivine.

La ségrégation est, parmi toutes les opérations chimiques et métallurgiques, auxquelles ont été soumis les éléments minéraux dans l'écorce terrestre, celle qui paraît reproduire le plus exactement les conditions de notre métallurgie ordinaire, de ses fusions ignées dans des fours ou dans des creusets. Il y a eu là scorification, action réductrice de gaz carburés, isolement de métaux. En ce qui concerne le fer, nous allons voir comment ce métal s'est concentré dans les fonds de creuset avec quelques autres corps chimiques, tels que le titane ou le chrome, tandis que d'autres substances, comme le phosphore, passaient dans les scories,

[1] *Rich. min. Asie*, p. 587.
[2] *Mission de Chancourtois*, 2521-78.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'autres encore, comme le nickel, tout en restant dans le magma métallique, avaient une tendance à s'isoler, à se localiser vers sa périphérie.

Généralement, le résultat de cette métallurgie, tel qu'il nous apparaît, n'a pas été complet ; l'isolement du fer n'a pas été poussé jusqu'au bout. Sans doute par suite de la présence de l'eau, qui a dû jouer un rôle si actif dans tous les phénomènes de géologie profonde, et en raison de sa dissociation, l'oxygène était trop abondant pour que le fer, emprisonné dans ces scories qui sont nos roches, même dans les plus basiques d'entre elles, pût (autrement qu'à titre très exceptionnel) rester à l'état natif. Le fer natif, il doit se trouver plus bas, dans les zones ultra-profondes, que nous ne connaissons pas directement[1], qui ne nous sont révélées que par les météorites ou par quelques cas de roches tout à fait exceptionnelles. Mais l'élément caractéristique de ces ségrégations, c'est le fer incomplètement oxydé, c'est la magnétite et, suivant une remarque précédente, la magnétite associée avec le titane, parfois aussi avec l'alumine.

Les gisements dont il va être question dans ce premier paragraphe sont en relation avec des roches du groupe des gabbros ; et les meilleurs types en ont été étudiés en Norvège.

D'une façon générale, on a divisé les gabbros norvégiens en deux groupes[2] : les hypérites à olivine (roches très ferrugineuses par elles-mêmes), avec ségrégations oxydées de titano-magnétite, ilménite, rutile et parfois apatite [3] ; les norites (moins ferrugineuses), avec ségrégations sulfurées.

Nous allons trouver, dans la première catégorie de ces roches, un certain nombre d'amas ferrugineux, souvent très titanifères, mais d'ordinaire purs en phosphore et pauvres en manganèse. Quelques-uns de ces gisements renferment une certaine proportion de pyrite ou de pyrite cuivreuse associée à la magnétite, qui prépare la transition au type Traverselle étudié un peu plus loin.

Taberg, Långhult, Inglamåla. — C'est, par exemple, au premier groupe en relation avec les hypérites qu'il faut rattacher le gisement classique de *Taberg* en Småland (au Sud du lac Wettern), bien connu par les descriptions de A. Sjögren et A.-E. Törnebohm [4]. Il existe, dans

[1] Il est inutile de rappeler combien la zone de l'écorce terrestre, accessible à nos investigations, même en tenant compte de tous les phénomènes géologiques qui ont pu en ramener des parties profondes vers la surface, est insignifiante relativement au rayon de la Terre.

[2] Le gabbro n'est, en réalité, qu'une diabase, où le pyroxène augite, associé au plagioclase, est remplacé par un pyroxène lamellaire (diallage). Avec un pyroxène rhombique (enstatite, hypersthène), on a les norites et hypérites, qui se rattachent très intimement aux roches précédentes ; mais les différences dans la teneur en fer sont très notables de l'une à l'autre : 3 à 5 de FeO. dans l'enstatite ; 5 à 14, dans la bronzite ; 10 à 14, dans le diallage ; 14 à 34, dans l'hypersthène. On a, de même. 1 à 4 de FeO dans le diopside, 10 à 16 de FeO dans l'olivine.

[3] Nous avons déjà signalé, en étudiant le phosphore, cette question de l'apatite dans les gabbros, qui se rattache assez intimement à la théorie des gisements de fer.

[4] 1846. Daubrée. *Gisements de Scandinavie*, p. 24. — 1876-1882. *Småland.* (Geol. Fören. Förh., t. 3 et 6, et Neues J. f. M. 1876, p. 434. — 1881. A.-E. Törnebohm. *Om Taberg i Småland* (*ibid.*, p. 610). — A. Sjögren. *Om förekomsters af Tabergs Jernmalmfyndighet.*

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

cette région, vers la limite Sud des lacs Wenern et Wettern et, plus loin, jusqu'à Oscarshamn, sur la Baltique, une curieuse traînée N.W.-S.E. de roches diabasiques et ophitiques, en relation avec un accident tectonique, marqué : dans l'Ouest, par des terrains cambriens et siluriens au milieu du gneiss ; à l'Est (de Jönköping à Oscarshamn), par des gneiss dans le granite. La montagne de Taberg est formée (fig. 188) d'une hypérite à olivine, vers le centre de laquelle s'est concentrée une péridotite à magnétite, essentiellement formée de titano-magnétite et d'olivine, avec un peu de biotite et un plagioclase très basique, qui fait défaut dans les zones les plus ferrifères. Törnebohm a pu suivre pas à pas la transition de l'hypérite à olivine, assez pauvre en magnétite et olivine, vers l'hypérite à olivine riche en ces deux minéraux et, enfin, vers la péridotite à magnétite sans feldspath.

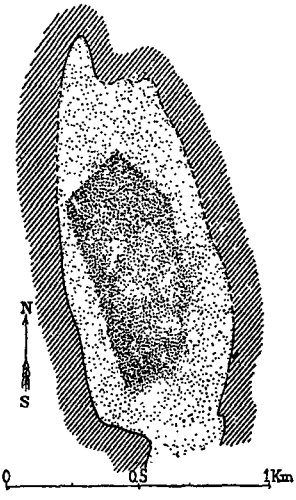


Fig. 188. — Carte schématisée du gisement de Taberg (d'après J. Vogt) montrant le passage de l'hypérite à olivine (sur la périphérie) à la péridotite à magnétite (dans la partie centrale).

Ce minerai, outre la présence du titane, est remarquable par celle du vanadium (0,12 à 0,40 p. 100 d'acide vanadique dans le minerai ; 0,25 dans la scorie).

Des cas du même genre se retrouvent, d'après J. Vogt, qui a spécialement étudié ces minerais de ségrégation, à *Långhult* et *Inglamåla*, où la teneur en vanadium est la même, etc., et ce savant leur a comparé les minerais d'Iron-mine Hill (Rhode Island), décrits un peu plus loin [1].

Kragerö. — Dans le Sud de la Norvège, la région de *Kragerö*, depuis longtemps connue par les travaux de Kjerulf et Dahl [2], présente, à Langö et Gomö, de semblables hypérites à olivines, dans lesquelles se sont concentrées, d'abord une roche ferrifère à plagioclase, puis une roche d'enstatite et ilménite (l'enstatite très ouralitisée), arrivant à contenir 60 p. 100 d'ilménite.

Bogstö. — Ailleurs, en Norvège encore, à Bogstö, en Skonevig, il s'est concentré, dans un gabbro, un gabbro à ilménite, correspondant aux minerais de fer titanés que N.-H. et H.-V. Winchell ont décrits au milieu des gabbros du Minnesota [3].

Ekersund, Lofoten, Krekling. — Dans le même ordre d'idées, j'ai décrit autrefois [4], d'après les géologues scandinaves, les concentrations de fer et de titane, qui se produisent sous la forme de magnétites titanifères et

[1] Page 316.

[2] Kjerulf et Dahl. *Om jernetsernes forekomst ved Arendal, Naes og Kragerö* (trad. par Fuchs, Ann. d. M., 6e, t. 9, p. 269). — 1910. Beyschlag, Krusch et Vogt, p. 371.

[3] 1891. *Geol. nat. Hist. Survey of Minnesota*, Bull. n° 6.

[4] Ann. d. M., janv. 1903.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de fers titanés au milieu des gabbros norvégiens : concentrations surtout

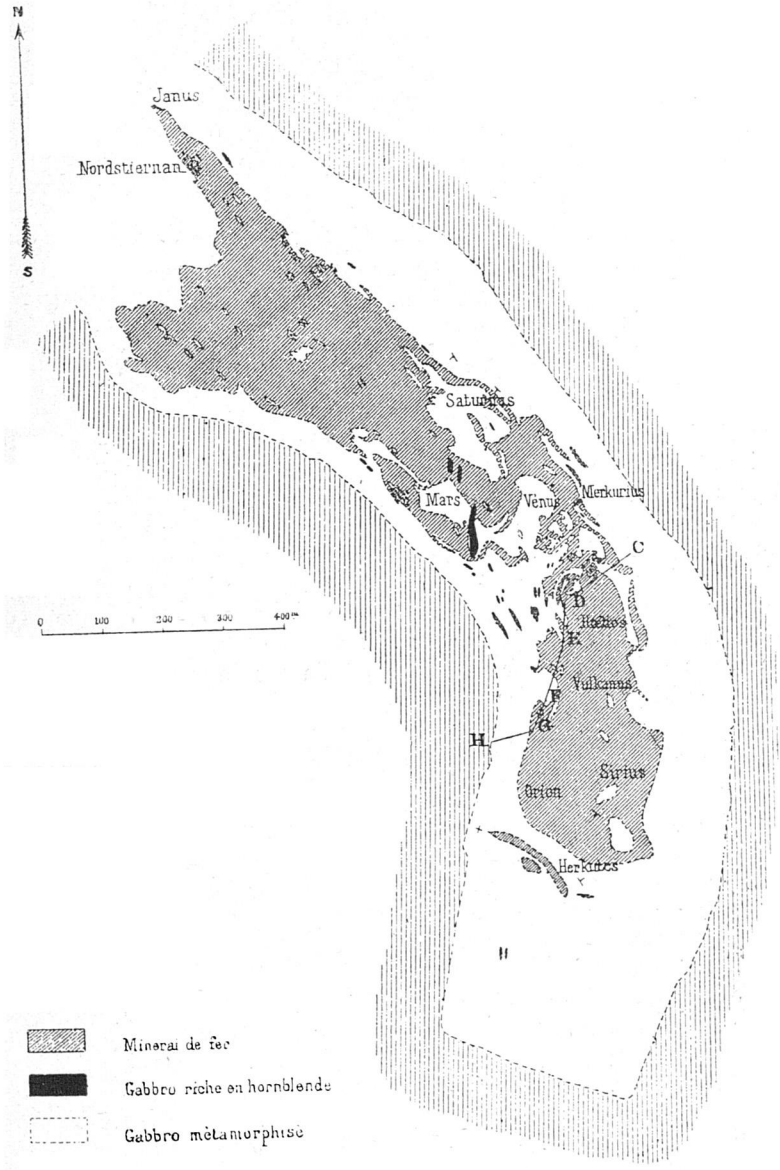


Fig. 189. — Carte géologique des gisements de fer de Routivara, d'après Petersson (1892). Echelle 1/12 000e.

intéressantes par le phénomène qui y a rassemblé, dans des proportions notables, ce corps relativement rare, le titane.

Je me contente de rappeler : le cas d'*Ekersund-Soggendal*, dans le Sud

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de la Norvège ; celui des îles *Lofoten* et *Westeraalen*, où, dans une roche de labrador et d'hypersthène, s'est concentrée, à Andopen, une titano-magnétite, d'abord associée avec du labrador et du diallage, puis avec du diallage, et enfin isolée ; enfin le gîte de *Krekling* (6 km. Est de Kongsberg), où, dans un gabbro à diallage, des silicates ferro-magnésiens se sont concentrés avec 40 p. 100 de titano-magnétite et, fait exceptionnel, jusqu'à 25 p. 100 d'apatite. Enfin, le cas le plus remarquable de beaucoup dans cet ordre d'idées est celui de Routivara en Norrbotten, sur lequel nous allons insister.

Routivara[1]. — Le gisement célèbre de Routivara est actuellement à peu près inaccessible, et sa très forte teneur en titane, jointe à cette difficulté d'accès, le rend, jusqu'à nouvel ordre, sans valeur pratique et industrielle. Mais il ne constitue pas moins un énorme amas de fer, l'un des plus grands du monde, dont la section horizontale, intermédiaire entre celles des deux grands gisements de Kirunavara et Gellivara, atteint 300.000 m² (1.600 m. sur 300 m. de dimension maxima). C'est, d'après les descriptions de Petersson et Sjögren, un très beau type de ségrégation ferro-titanée dans un massif de gabbro du groupe des hypérites à olivine.

D'après Walfr. Petersson, dont je reproduis ici la carte (fig. 189), la roche fondamentale de la région est un gabbro ou gabbro-diorite, fortement métamorphisé, surtout composé de labrador saussuritisé, dont le poids spécifique est 2,73 et dont on trouvera l'analyse ci-dessous (I). En se rapprochant du gisement, on trouve, en filons très localisés, une variété amphibolique ou micacée (II), plus dense (poids spécifique 2,87) ; et l'on arrive enfin, au cœur du gabbro, à l'amas de minerai proprement dit (III), à 47,61 p. 100 de fer.

TABLEAU 26. — ANALYSES COMPARÉES DU GÎTE DE ROUTIVARA

	I	II	III
SiO^2	54,06	47,37	4,08
TiO^2	0,39	0,25	14,25
Al^2O^3	29,01	23,22	6,40
Cr^2O^3	»	0,39	0,20
Fe^2O^3	»	»	33,43
FeO	0,64	6,42	34,58
MnO	»	0,28	0,45
MgO	0,41	8,67	3,89
CaO	9,93	6,86	0,65
K^2O	0,57	0,63	0,15
Na^2O	4,68	3,25	0,29
Ph^2O^5	»	»	0,016
H^2O	0,66	3,25	1,32

[1] Sur Routivara, voir : 1893. WALFR. PETERSSON. *Om Routivare järnmalmsfält i Norbottens Län* (Geol. Fören. Förh., n° 148, p. 45 à 54). — 1893. HJ. SJÖGREN. *En ny jernmalms typ representerad af Routivare malmberg* (Geol. Fören. Förh., n° 148, p. 55 à 63, et n° 150, p. 140 à 143). — Cf. Z. f. pr. Geol. (1893, p. 269 ; 1900, p. 233 et 235 ; 1901, p. 13).

Dans le même ordre d'idées, nous trouverons plus loin *Välimäki* en Finlande, au Nord-Est du lac Ladoga, où la magnétite est de même dans un gabbro-diorite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le minerai III, appelé par Petersson une titano-magnétite-spinellite [1], est exclusivement du minerai noir (svartmalm). Il comprend, comme minéraux constituants, par ordre d'importance décroissante : de la titano-magnétite (poids spécifique, 4,96 ; environ 9 p. 100 de TiO^2) ; de l'ilménite (poids spécifique, 4,55 ; environ 45 p. 100 de TiO^2) ; du spinelle vert (pléonaste ou hercynite) ; de l'olivine ; un minéral de la famille du pyroxène (probablement de l'hypersthène) ; accessoirement, de la pyrrhotine, assez abondante par points. Les analyses montrent que le phosphore fait à peu près complètement défaut : ce qui suffirait à différencier ce gisement de ceux que nous étudierons plus loin à Kirunavara.

Le spinelle, remarquablement fréquent, appartient à deux temps de consolidation distincts. De grands individus zonés, de 1 à 5 millimètres, ont cristallisé avant la magnétite et l'ilménite ; d'autres, 50 à 100 fois plus petits et non zonés, à peu près en même temps que ces minerais. La cristallisation de l'olivine est ordinairement antérieure à celle de la magnétite.

Cette présence du spinelle, qui correspond à une teneur en alumine encore assez sensible, est un rapprochement avec les gisements de Taberg et Ransberg, en Småland.

La ségrégation s'est faite par diminution de la silice, de la chaux et des alcalis, concentration du titane, du chrome, du fer, du manganèse et de la magnésie.

Quand on examine un peu plus en détail l'allure du gisement, on est aussitôt frappé par le contraste que présente son irrégularité avec les lentilles ou amas interstratifiés des autres gisements scandinaves. C'est un ensemble assez confus de veines, qui sont très loin d'avoir toutes la direction générale de la masse et qui présentent des plongements trop variés pour pouvoir être figurés sur une carte. D'après Petersson, on semble avoir affaire à une puissante brèche avec d'énormes morceaux de minerai entourés de roche stérile. Les contacts du minerai et de la roche encaissante se font brusquement, sans l'intermédiaire de ces gangues à minéraux ferrugineux (hypersthène, pyroxène, grenat, amphibole, etc.), que l'on retrouve si souvent en Suède et que l'on y appelle le skarn.

Välimäki, Arkhangelsk [2]. — Le même type se retrouve encore, d'après Blankett, sur l'autre rive de la Baltique, en Finlande, à *Välimäki*, au N. E. du lac Ladoga. Il existe là, au milieu de micaschistes à andalousite et à staurotide, de phyllites, quartzites, amphibolites, etc., un massif de gabbro dioritique recoupant les schistes, dont il englobe des fragments. Cette sorte de gabbro est formée de plagioclase, hornblende, augite, avec épidote, apatite, magnétite, etc. On y remarque des ségrégations de magnétite titanifère à 2,90 d'acide titanique. Ces mines sans importance ont produit, en 1896, 7 464 t. de minerai.

[1] Ce minerai se distingue par là légèrement du type Taberg, qualifié de magnétite-olivinite, et du type Ekersund, ou ilménite-norite.

[2] 1896, Blankett. *Välimäki malmfält* (Geol. Fören. Förh., p. 201, avec carte). — Cf. Tigerstedt. *Om Finlands malmförekomster* (Congrès géogr. en Finlande, 1895), et publications sur Pitkäranta, à la bibliographie finale.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Plus à l'Est, près d'*Arkhangelsk*, on a signalé récemment une lentille de fer titané dans une roche qualifiée de mélaphyre.

Terre-Neuve. — Les titano-magnétites sont une forme de minerais très fréquents dans les massifs anciens ayant subi des retours en profondeur et comportant des différenciations de roches éruptives. Ces minerais étant actuellement sans valeur industrielle, leur reconnaissance est généralement incomplète ; mais, un jour ou l'autre, ils pourront constituer une ressource importante.

Ainsi, en dehors des minerais exploités à Terre-Neuve qui appartiennent surtout au dévonien, il existe, dans l'Ouest de l'île, d'énormes dépôts de titano-magnétite à 65 p. 100 de fer métallique, aujourd'hui inutilisables en raison de leur teneur en acide titanique qui atteint 4 à 16 p. 100.

Etats-Unis[1]. — Des magnétites titanifères et titano-magnétites inutilisées existent également dans les Adirondacks, à Rhode Island, dans le Minnesota et, d'autre part, au Wyoming et au Colorado. Celles de *Cumberland Hill* (Rhode Island) sont, d'après Kemp, tout à fait assimilables à celles de Taberg.

D'après le même auteur, on a, à *Port Henry* (New York), au milieu d'un champ de labradoritfels, ou anorthosite, des gabbros (diabases à gros grains), ayant subi un plissement précambrien. Des ségrégations de magnétite titanifère se sont faites dans le cœur des gabbros ; des magnétites non titanées forment, en outre, des veines au contact du gabbro ou au voisinage de ce gabbro. Ces veines sont en relation intime avec des pegmatites, contenant de la hornblende et de la magnétite, avec, accessoirement, de l'apatite, du zircon, de la titanite et de l'orthite cristallisée ; on trouve de plus des masses de quartz à magnétite avec fluorine.

Brésil. — Le massif brésilien, étant homologue des massifs Nord-américain et scandinave par sa constitution tectonique, il est naturel d'y retrouver des gisements de fer analogues et comparables également à ceux que présente un autre massif semblable, celui de l'Afrique Centrale.

C'est, en effet, ce qui se produit. Les titano-magnétites sont abondantes. On y connaît, en outre, et nous signalerons incidemment à ce propos, de grands gisements ferrugineux associés à des roches quartzifiées dans des séries ayant pris, par retour en profondeur, le faciès archéen.

Tel est notamment le cas dans l'Etat de Minas Geraes, où la formation ferrifère, avec itabirites, quartzites, schistes et lits subordonnés de calcaires, occupe au moins 10 000 km². On distingue : le Quarry ore à 50-70 p. 100 ; le rubble, qui est un résultat d'altération du premier et contient environ 50 p. 100 ; enfin, la canga, sorte de conglomérat superficiel composé de fragments de rubble agglomérés. Ces trois sortes sont pures en phosphore.

Australie Occidentale. — On retrouve, en Australie Occidentale, dans le district de Murchison, à Gabanintha, un gisement de fer riche en titane (12 p. 100 d'acide titanique) qui, d'après les descriptions, formerait un amas filonien de 1.500.000 t.

[1] 1893. Kemp. *Ore deposits of the United States*, p. 56 et 281. — 1897. Kemp. (Trans. Am. Inst. of Mining Engin., Chicago Meeting, février, et Z. f. pr. G., 1897, p. 318).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Transvaal. — Au Transvaal, les ségrégations magmatiques ferrugineuses sont particulièrement développées dans un grand laccolithe qui occupe près de 64.000 km² du Bushveld. Le centre étant granitique, la périphérie comprend une série de roches basiques et ultrabasiques, gabbros, norites, pyroxénites, où l'on trouve des lentilles de magnétite plus ou moins titanifère ayant souvent plus d'un kilomètre de large, qui peuvent représenter plus tard une sérieuse richesse.

Cogne (Val d'Aoste)[1]. — Tous les gisements précédemment cités appartiennent à des zones de métamorphisme ancien.

Quelques exemples de ségrégations situées dans la chaîne alpestre suffiront à montrer que le type en question n'est pas localisé dans les plates-formes primitives, mais qu'il peut se rencontrer également dans d'autres cas, où apparaissent au jour des péridotites serpentinisées.

Au Nord, à l'Est et au Sud du Grand Paradis, les roches vertes dessinent une courbe presque continue, qui accuse aussitôt leur relation avec la forme des plissements. Dans le Nord, du côté d'Aoste, ces roches sont surtout accompagnées par des amas de magnétite, minerais typiques de ségrégation, dont les principaux se trouvent autour de *Cogne*. A la Licone, la serpentine s'intercale entre une couche de calcaire cristallin et du schiste micacé. Cette serpentine contient beaucoup de fer oxydulé disséminé dans sa masse et, par une ségrégation analogue à celle qui est si fréquente pour le fer chromé, il s'y est formé une série d'amas alignés sur plusieurs km. de long. Le plus considérable, que son altitude élevée et le défaut de moyens de communication ont empêché d'exploiter avec continuité, mesure 150 m. sur 25 m. et peut cuber 300.000 t. A la magnétite sont associés l'asbeste, la dolomie, le talc et un peu de brucite. Le pyroxène fait défaut.

H. — GISEMENT DANS UNE SYÉNITE NÉPHÉLINIQUE, TYPE D'ALNÖ[2]

Le cas du petit gisement terrifère d'Alnö, mentionné ici seulement pour son intérêt théorique, se distingue des exemples précédents par la nature de la roche encaissante, qui est une syénite néphélinique. Ce groupe de roches, est, on le sait, le siège des minerais rares de Norvège (gadolinite, cérite, composés d'yttrium, thorium, etc.). On y observe, en divers pays, des cristallisations de graphite (mont Batougol, etc.), ou des minéraux titanés. Il est à remarquer que la forte teneur en soude, par laquelle elles sont en partie caractérisées, se retrouvera tout à l'heure dans les porphyres qui encaissent le gîte de Kirunavara.

[1] Gisement visité en 1881. — Voir : Sismonda. (Mem. della R. Ac. del Sc. di Torino, 1re s., t. 39). — Baretti. *Studi sul gruppo del gran Paradiso*. — Jervis, t. I, p. 91. — 1874. Parran. (B. S. G. F., 3e, t. 2, p. 257, et Ann. d. M., t. 8; Revue de géol, 1874-75). — 1884. Crzvskowski (B. Soc. Ind. Min., p. 283).

[2] Coll. Ecole des mines. — Gisement visité en 1899. — Voir 1894. Högbom. *Ueber das Nephelinsyenitgebiet auf der Insel Alnö* (en allemand) (Geol. Fören. Förh., p. 18; 1895. p. 100 à 161 et 214 à 257 avec carte géolog. — Lundbohm. *Praktisk geol. Undersökn. in. Vesternorrlands Län* (Sver. geol. Undersökn., no 177. p. 26, avec bibl.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

I. — AMAS FERRUGINEUX ASSOCIÉS A DES ROCHES ACIDES OU NEUTRES (TYPES KIRUNAVARA ET OURAL)

En pendant avec les ségrégations ferrugineuses en magma basique qui constituent un cas fréquent et bien connu, il y a lieu de faire une place plus hypothétique à des gisements, où les oxydes de fer semblent dériver de roches neutres ou acides.

Ces gisements ont pour point de départ les inclusions dans de semblables roches, qui ont été précédemment étudiées[1]; ils aboutissent à des amas souvent très volumineux, dont le type le plus représentatif paraît être la montagne de fer de Kirunavara, mais dont on retrouve des équivalents dans l'Oural, en Sibérie, etc. Ainsi que nous allons le voir, certains d'entre eux (Kirunavara, Liébejaya. Cerro de Mercado), sont caractérisés par une très forte teneur en phosphore. Ils sont associés à des porphyres. D'autres, qui comprennent la presque totalité des gîtes ouraliens, sont pauvres en phosphore, mais parfois chargés de sulfures. Cette pureté en phosphore est constante pour les gîtes encaissés dans un calcaire. Elle se retrouve pour les gisements (comme Troïtsk ou Blagodat), encaissés dans un porphyre ou une syénite. Seuls les minerais de Liébejaya, près du mont Vissokaya, sont phosphoreux.

KIRUNAVARA[2]

Situation et dimension. — Le gisement de Kirunavara, qui a été très étudié par les géologues suédois et norvégiens et dont l'importance pra-

[1] Page 309.

[2] Gisement visité en 1899. — Voir : L. De Launay. *Les minerais de fer scandinaves* (Ann. d. M., juillet 1903. — Cf. pour les gîtes divers de la Laponie suédoise : 1884. Alrik Ljunggren. *The Swedish iron mountains Luosavaara and Kirunavaara* (16 p., à Stockholm). — 1884. Brustlein. *Fer de Laponie* (Ind. Min.; C. R., juillet). — 1884. Schwarze. (Stahl und Eisen, juillet). — 1890. Hjalmar Lundbohm. *Apatit forekomster i Gellivare Malmberg* (Sv. geol. Unders, série C, n° 111) 48 p. et 3 pl. — 1890-92. Törnebohm, Löfstrand, Fredholm, etc., Mémoires divers sur Kirunavara (Geol. Fören. Förh.). — 1890. Otto Torell. *Apatitförekomsterna i Norrbottens Län* (Sver. geol. Unders., série C, n° 113, 12 p.). — 1892. Fredr. Svenonius. *Om Berggrunden i Norrbotens Län* (Sver. geol. Unders., série C, 126, 44 p., avec carte géologique du Norrbotten). — 1892. Hjalmar Lundbohm. *Apatit förekomster i Norrbottens Malmberg* (Sver. geol. Unders., série C, 127, 38 p.). — 1896. Petersson. *Geol, Beskrif. ofver Nordmarks grufvors odalfält* (Sveriges geol. Unders., série C, n° 162). — 1896. Fredr. Svenonius. *Topografiska Karlor over Norrboltens Turistfelder* (Stockholm). — 1897. Johan. H.-L. Vogt. *De store nord-svenske Jernmalmfelter og Ofotbanen* (Norsk teknisk Tiddskrift) (Kristiania), 27 p.). — 1898. Hjalmar Lundbohm, *Kirunavaara och Luossavaara Jernmalmsfält* (Sver. geol. Und., série C, 175, 72 p. et 3 pl.) (traduit en anglais ; résumé en allemand dans la Z., f. pr. Geol., 1898. p. 423). — 1898. Johan. H.-L. Vogt. *Kirunavara Jernmalmfelt og Ofotbanen* (Rap. au Min. des trav. pub. norvégien sur le projet de chemin de fer de Gellivara à Ofoten, 39 p. Résumé de l'article précédent (Z. f. pr. Geol., 1898, p. 254). — 1898. Högbom. *Sur les minerais de fer en relation avec des syénites dans l'Est de l'Oural* (en suédois) (Geol Fören. Förh. — 1898. Lundbohm et Backström. *Géologie de Kirunavara* (en suédois) (Geol. För. möte den 3 mars 1898, t. 20, p. 68 à 74). — 1898. Wedding. *Die Eisenerz Vorkommen von Gellivara und Grängesberg in Schweden* (Preuss. Zeitschr. f. B. Hu. Sal., t. 46, p. 69 à 78 avec 1 pl.). — 1898. Meeting de l'Iron and Steel Institute en Suède (The Iron monger, 10 sep.). — 1899. H. Bauerman. *The Gellivare Iron ore mines* (Iron and Steel Institute, mai). —

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tique est considérable, se trouve en Laponie suédoise, au Nord du cercle Polaire. Sa constitution peut être expliquée en deux mots. C'est une énorme lentille de fer oxydé encaissée entre deux porphyres.

En plan (fig. 190), ces gisements forment une longue zone Nord-Sud au milieu des porphyres, avec une interruption au Sud, au lac de Luossajarvi.

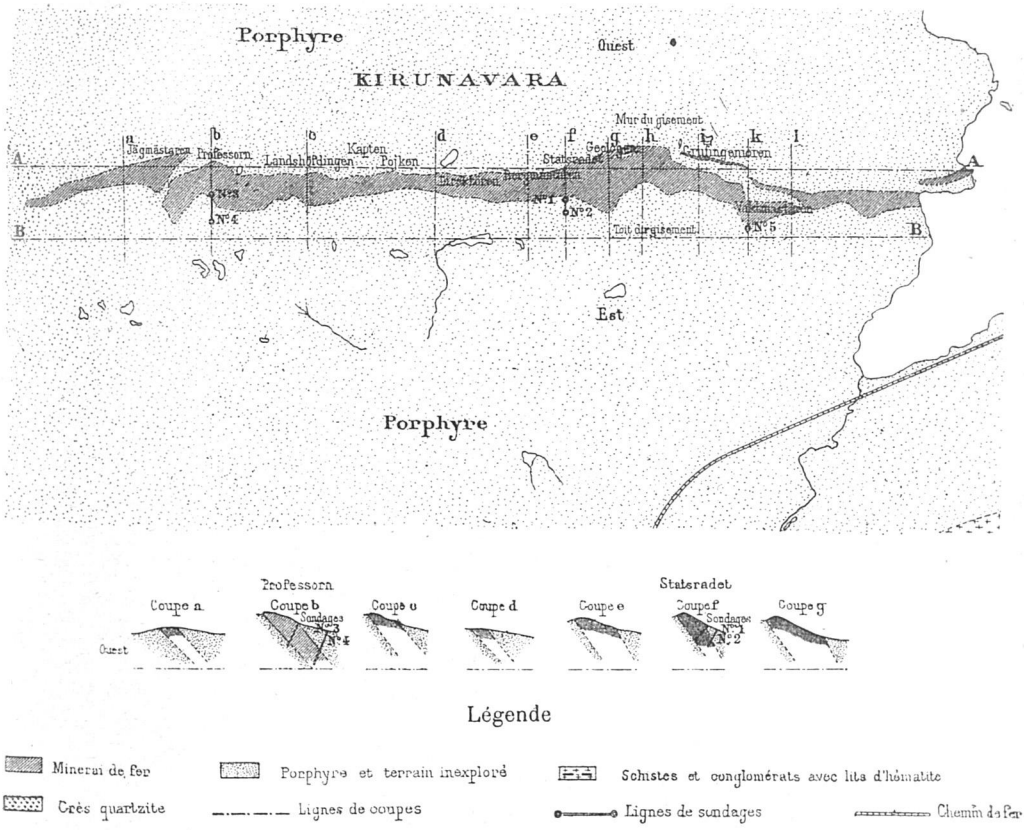


Fig. 190 et 191. — Carte et coupes des gisements de fer de Kirunavara.

Contrairement à ce qui se passe pour les gisements, géographiquement très voisins, du type Gellivara qui seront étudiés plus loin, Kirunavara est formé, non d'un chapelet de petites lentilles ni d'un système de niveaux

1899. Wetze. *Die Gellivara Erze* (Mitth. d. geogr. Ges. Lubeck, p. 48 à 61). — 1899. *Gites de fer de Kirunavara et Luossavara* (Ann. des Mines, janvier 1899 (Bull.), 3 p.). — 1899. Beck. *Ueber einige mittelschwedische Eisenerzlagerstätten* (Norberg, Persberg, Dannemora, Grängesberg, Långban) (Z. f. pr. G., p. 1 à 10). — 1900. Svenonius et Petersson. *Malmfyndigheter in Jukkasjärvi malmtrakt* (Sver. geol. Unders., n° 183). — 1910. Carlheim-Gyllensköld. *A brief account of a magnet. Surv. of Kirunavara* (Stockholm). — 1908. Nicou. *Les gisements de minerai de fer de la Laponie suédoise* (Ann. d. M.). — 1911. Nicou. *Etudes sur les minerais de fer scandinaves* (Ann. d. M., févr. et avril).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

interstratifiés, mais d'une simple masse bien compacte et bien localisée[1]. La longueur totale de cette masse est de 3^{km},5 ; sa largeur horizontale reste, presque toujours, au-dessus de 40 m. et atteint 166 m. au point nommé Geologen. Le cube reconnu et exploitable sans travaux profonds, au-dessus du niveau du lac, n'est pas estimé par les ingénieurs suédois à moins de 240 MT ; chaque mètre d'approfondissement peut donner de 1.500.000 t. à 1.900.000 t. En supposant que l'on pût descendre à 300 m. au-dessous du lac, on arriverait au total, d'après le dernier calcul de Lundbohm en 1910, à 672 MT.

Si, laissant le côté pratique du gisement pour envisager sa seule théorie, on tient compte de la partie, aujourd'hui disparue, qui en a été enlevée par l'érosion, et si on évalue la hauteur primitive du gisement à 1.000 m., on arrive à cette conclusion qu'il a dû se rassembler là primitivement au minimum 1.500 à 2.000 MT de minerais à 65 p. 100 de fer, c'est-à-dire entre 1 et 1,3 milliard de tonnes de fer pur. Ce chiffre peut même être très inférieur à la réalité ; car, d'une part, la partie enlevée par l'érosion à pu être plus considérable encore, de l'autre, nous ne connaissons pas exactement les limites en profondeur. C'est, dans toute hypothèse, la plus grosse boule d'oxyde de fer que l'on connaisse sur le globe.

H. Lundbohm a estimé la surface du minerai de Kirunavara, — c'est-à-dire la section horizontale, assez sensiblement oblique sur l'amas — à 387.000 m^2, dont 230000 m^2 à découvert. En y joignant Luossavara (49000 m^2), on a 436.000 m^2. Le petit tableau ci-joint, emprunté à Vogt, permet de comparer ces dimensions avec les autres grands gîtes suédois ; le poids spécifique du minerai a été estimé à 4,5.

TABLEAU 27. — COMPARAISON DES GISEMENTS DE FER SUÉDOIS

GISEMENT	SURFACE de minerai	QUANTITÉS DE MINERAI par mètre d'approfondissement	TENEUR EN FER
	mètres carrés	tonnes	p. 100
Kirunavara-Luossavara .	436.000	1.900.000	65
Routivara	300.000	1.300.000	48
Gellivara	238.000	750.000	63
Svappavara	45.000	180.000	60
Grängesberg	40-45.000	150.000	62

Les coupes (fig. 191) montrent un rétrécissement assez sensible de la section en profondeur : phénomène que l'on doit toujours prévoir dans ces gîtes en amas lenticulaires, qui sont appelés à se rétrécir et à se coincer suivant l'inclinaison, comme ils le font en direction.

Composition du minerai. — Le minerai, composé de magnétite et d'oli-

[1] Au Sud seulement, les sondages et mesures magnétométriques ont fait reconnaître, sur la même zone, après une interruption, quelques petits gisements isolés (Harädshofdingen, Kammarherren, etc.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

giste, est physiquement trop compact et, par là, difficile à réduire: il donne, d'autre part, trop peu de laitier. Chimiquement on peut remarquer la teneur en acide titanique, qui varie de 0,32 à 0,95 p. 100 à Kirunavara et, à Luossavara, de 0,95 à 1,50 p. 100.

Quant au soufre, il ne dépasse pas 0,05 à 0,08 p. 100.

Des traces de cuivre ont été seulement rencontrées en deux points de Vaktmastaren et de Geologen.

La question du phosphore est plus grave. Les minerais sont, en effet, exceptionnellement riches en phosphore.

La moyenne de l'extraction de 1906 a donné 62,8 p. 100 de fer et 1,585 de phosphore avec 5 à 6 p. 100 de chaux correspondant au phosphate.

On est obligé de faire, pour la vente, d'après les chantiers d'abatage, six qualités: A au-dessous de 0,05 de phosphore; B de 0,05 à 0,10; C de 0,10 à 0,60; D de 0,75 à 2,5; F de 2 à 3; G à 4 p. 100. Les qualités D, F, G, forment 80 p. 100 de l'extraction.

Géologie. — La grande particularité de ce gîte, qui en fait l'originalité et qui contribue non moins à sa valeur industrielle qu'à son intérêt théorique, c'est qu'il est entièrement homogène et encaissé, d'un bout à l'autre, dans des porphyres parfaitement typiques, occupant, au milieu d'eux, une zone si nette et si rectiligne qu'on a pu quelquefois la supposer filonienne.

Il se distingue par là totalement des gîtes ordinaires de Suède, dont il sera question plus loin, gîtes interstratifiés dans les terrains cristallophylliens, et son origine reste encore très obscure.

Quand on parcourt cette région de Kirunavara de l'Ouest à l'Est, c'est-à-dire transversalement au gisement Nord-Sud, on trouve (autant que le manteau superficiel presque continu de moraines glaciaires et de tourbières marécageuses permet les observations) les roches suivantes, dont les dernières tout au moins sont superposées les unes aux autres dans l'ordre stratigraphique où nous allons les rencontrer, c'est-à-dire du mur au toit:

1° Syénites augitiques, souvent ouralitisées;

2° Porphyres du mur, composés d'orthophyres sodiques augitiques ou, plus rarement, micacés (kératophyres), parfois fluidaux, parfois aussi sphérolithiques;

3° Minerai de magnétite phosphoreuse;

4° Porphyres acides, du même groupe des orthophyres sodiques ou albitophyres (quartz-kératophyres), pouvant devenir localement pétrosiliceux ou globulaires, en général nettement fluidaux;

5° Conglomérats à fragments de minerai de fer et schistes d'Haukivara.

6° Quartzites avec intercalation de porphyre.

Les roches éruptives 1, 2, et 4, présentent un air de famille incontestable. L'analyse montre leur forte teneur en soude (environ 6 à 7 p. 100) et leur teneur en acide titanique, qui semble décroître progressivement à mesure qu'on remonte la série, de la syénite (1,82) au porphyre du mur (1,50), à la magnétite (1 à Luossavara; 0,32 à 0,95 à Kirunavara), enfin au porphyre du toit (0,51).

L'ensemble de cette région paraît donc comprendre, en résumé, une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

série précambrienne nettement sédimentaire, dans laquelle sont venues s'intercaler, comme dans la série homologue du lac Supérieur, des coulées ou intrusions de porphyre, suivies par des conglomérats du même porphyre. Le système de ces porphyres présente, dans la région étudiée, un groupe particulièrement riche en soude, qui va, par une modification de structure, des syénites augitiques aux orthophyres sodiques augitiques et, par une accentuation siliceuse, de ceux-ci à des orthophyres analogues à grains de quartz ; le tout est recoupé par des filons de microgranulite. C'est entre deux semblables coulées que s'intercale la principale masse ferrugineuse ; mais ni celle-ci, ni les porphyres encaissants ne constituent un cas unique dans le pays, et l'on retrouve, un peu plus loin, en plus petit, la répétition du même phénomène avec d'autres gisements de fer.

La coupe du gisement donne, en somme, l'apparence, peut-être illusoire, mais pourtant bien marquée, d'une succession chronologique dans la série des roches que nous venons d'énumérer.

C'est ainsi qu'à la coulée porphyrique du mur (2), d'un type basique, et très chargée d'intrusions ferrugineuses, succède le minerai de fer (3), qui débute par une série d'intercalations minces dans le porphyre, puis se continue par une magnétite schisteuse et particulièrement phosphoreuse, englobant parfois, à la base, une vraie brèche de porphyre. Cette magnétite a, dans l'ensemble aussi bien que dans le détail, une sorte de schistosité générale, à direction Nord-Sud, avec forte inclinaison vers l'Est de 50 à 60°, qui peut sans doute être due à un dynamo-métamorphisme, mais qui peut également accuser une ancienne stratification.

Au-dessus vient une coulée de porphyre un peu plus acide (4), ayant le même plan général de stratification et débutant, à Luossavara, par des roches englobant des fragments de minerai de fer.

Après quoi, nous trouvons le conglomérat d'Haukivara (5) à fragments de porphyre et de minerai de fer, les schistes du même étage à lits discontinus d'hématite peut-être secondaires et les quartzites (6), qui leur succèdent.

Origine du gisement. Hypothèses diverses. — On a proposé, pour expliquer ce gisement très obscur, diverses théories que je vais rapidement résumer et que l'on pourra comparer avec celles données plus loin pour les gisements analogues de l'Oural.

1° L'idée d'une ségrégation acide proprement dite a été développée par Högbom[1], qui a rapproché ces gisements de ceux de l'Oural (Blagodat, etc.), en imaginant qu'il y avait eu là un simple départ profond, analogue, pour les roches acides ou neutres, à celui que nous avons étudié plus haut pour les roches basiques de Taberg, mais s'en distinguant par une bien moindre teneur en titane. Plus récemment, R. Beck a repris cette opinion dans son ouvrage sur les gîtes métallifères.

Nous sommes disposés à adopter cette théorie, mais avec une variante. On ne saurait parler ici d'une différenciation proprement dite, d'une

[1] 1898. Högbom. *Sur les minerais de fer de l'Oural en relation avec des roches syénitiques* (en suédois) (Geol. Fören. Förh., 20).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

liquation en vase clos et en profondeur sans pneumatolyse. Comme l'a fait remarquer J. Vogt[1], il n'y a rien ici de semblable aux transitions progressives, aux concentrations du magma encaissant qui caractérisent les ségrégations basiques. D'autre part, une ségrégation profonde semble très difficilement compatible avec la fluidalité des porphyres encaissants, qui accuse des coulées (par conséquent, un mouvement superficiel, ou très voisin de la superficie), de même qu'avec les apparences de succession stratigraphique, tout au moins très spécieuses, sur lesquelles j'ai insisté. Enfin l'aspect du gisement, examiné un peu en détail, ne ressemble en rien à celui d'un simple dyke porphyrique, dans lequel se serait localisée, par liquation, une boule de magnétite.

Conservant l'idée d'un rapport d'origine entre le porphyre et la magnétite, que paraissent indiquer notamment des inclusions abondantes de magnétite dans le porphyre du mur, nous proposerions d'admettre une transition aux gîtes de départ type Banat qui seront examinés plus loin, une émanation participant, dans une certaine mesure, du caractère hydrothermal.

De quelque manière qu'elle se soit produite, la cristallisation de la magnétite paraît avoir un rapport d'origine avec les porphyres encaissants et il semble vraisemblable qu'il y a eu, sinon ségrégation proprement dite, du moins départ immédiat à l'état de chlorure de fer[2], analogue à celui qui a produit les inclusions d'oligiste étudiées plus haut. Cette idée, à laquelle le seul gisement de Kirunavara fait déjà songer, est confirmée par la comparaison avec les divers gisements analogues qui seront étudiés ultérieurement.

2° On pourrait encore être tenté d'imaginer, sur un noyau ferrugineux, sur un bain de fonte en fusion, la formation d'une véritable croûte de scorie porphyrique animée de déplacements, qu'accuserait sa fluidalité, se différenciant, se liquatant par zones parallèles à cette surface. Les parties les plus acides, c'est-à-dire les plus légères, seraient montées, vers cette superficie en englobant cet énorme amas de magnétite, ce débris du magma profond, un peu stratifié dans cette consolidation même (auquel manqueraient pourtant les autres métaux, nickel, etc., que nous supposons volontiers dans les bains de fonte internes). Tout ce fragment de croûte, chaviré, incliné, aurait alors reçu la véritable sédimentation postérieure des conglomérats, schistes et quartzites d'Haukivara.

Cette idée, que je me contente d'exprimer, rentrerait assez dans les théories que l'on développait autrefois sur la formation des terrains cristallophylliens par la première consolidation du globe. Elle me paraît bien difficilement compatible avec le caractère franchement sédimentaire, que l'on reconnaît de plus en plus dans ces terrains, lorsqu'on peut faire abstraction de leur métamorphisme ultérieur.

3° Une hypothèse, qui se présente encore à l'esprit, est celle d'un dyke filonien proprement dit, filonien à la façon des roches éruptives et non suivant celle des filons concrétionnés métallifères. On aurait affaire à une

[1] Zeitschrift für praktische Geologie (1900, p. 242 ; 1901, p. 334, note 17).

[2] L'abondance de l'apatite est en rapport avec cette idée d'un milieu riche en chlorofluorures.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

roche très spéciale, dont la magnétite et l'apatite seraient les éléments constituants : à un dyke, qui serait venu s'intercaler par intrusion entre les deux coulées de porphyre basculées et redressées. Cette hypothèse semble également peu admissible, à cause des fragments de minerai repris par le porphyre du toit, surtout la brèche de magnétite et de porphyre dans les conglomérats d'Haukivara, tous phénomènes paraissant bien indiquer que le minerai est antérieur au porphyre du toit.

4° La même objection, avec beaucoup d'autres, s'oppose à l'hypothèse purement filonienne d'un filon oxydé, analogue à ceux de sulfures métallifères, qui a été soutenue par Törnebohm.

On pourrait toutefois, à ce propos, supposer que l'amas de Kirunavara est un ancien amas pyriteux, comparable à celui de Rio-Tinto, — lui aussi, rappelons-le, en contact avec des porphyres — Imaginons, sans préjuger son origine, un tel amas pyriteux soumis à un métamorphisme, d'abord désulfurant et péroxydant, puis réducteur, et la pyrite se transformera en magnétite. Rio-Tinto deviendra d'abord la Tafna, puis Kirunavara. Cette idée d'un métamorphisme, en définitive oxydant, exercé sur des dépôts d'abord sulfurés, n'est pas inadmissible, mais paraît bien compliquée.

5° Enfin, je tiens à indiquer en terminant la possibilité (assez plausible en somme) d'un lambeau sédimentaire tombé et pincé entre deux failles dans une coulée porphyrique, par-dessus laquelle il se serait d'abord déposé, et qui aurait été plus tard cassée et repliée. Il en résulterait une théorie sédimentaire assez simple, mais qui n'explique pas la relation du minerai de fer avec le porphyre, constatée également dans beaucoup d'autres gisements signalés plus loin.

Industrie. — L'extraction de Kirunavara, commencée en 1901, a atteint : en 1906, 1 488 000 t. et, en 1907, 1 417 000 t. En octobre 1908, le tonnage extrait montait déjà à 7.4 MT. En 1909, on a abattu 1 603 000 t. de roches pour obtenir 1 384 000 t. de minerai, dont 55 p. 100 à 61,76 p. 100 de Fe et 1,99 de Ph., 29,8 p. 100 à 55,77 de Fe et 2,9 de Ph., et le reste à moins de 0,2 de Ph. Le personnel ouvrier est au nombre de 1 300. L'exploitation se continue l'hiver à la lumière électrique. Le prix de revient s'élève de 1 fr. 60 à 1 fr. 67, tous frais d'abatage et de transport à la voie ferrée compris.

Finlande. — Sur le lac Ladoga, à Pitkäranta et Kelivaara, des gisements développés mais pauvres à 30 p. 100 de fer semblent en relation d'origine avec le granite rapakiwi, au contact duquel ils se trouvent.

OURAL (BOGOSLOVSK, TROITSK, BLAGODAT, VISSOKAYA, etc.)[1]

L'Oural présente un certain nombre de gisements, intéressants à comparer avec celui de Kirunavara, qui accusent, comme celui-ci, un rapprochement de la magnétite avec un magma syénitique à pyroxène et

[1] J'ai donné dans les *Richesses minérales de l'Asie*, une description des mines de l'Oural avec bibliographie. Bogdanovitch a publié depuis une importante étude sur ce sujet dans *Iron ore Resources of the world*, p. 364 à 485.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

riche en soude, mais qui, d'autre part, sont très différents à d'autres égards: faible teneur ordinaire en phosphore; accentuation fréquente de la pyrite, de la chalcopyrite, ou même de la blende, association de petits bancs fer-

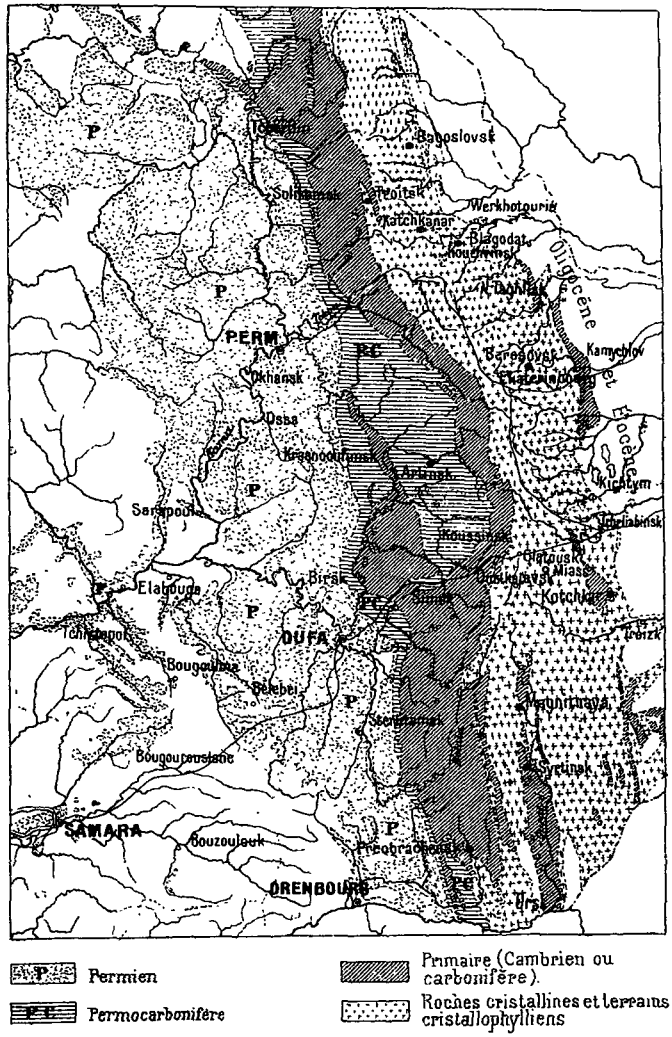


Fig. 192. — Carte géologique de la zone métallifère de l'Oural.

rugineux à apparence interstratifiée, développement fréquent des roches à grenat provenant de calcaires métamorphisés qui accentuent le passage au type Banat, étudié dans un paragraphe suivant, etc.

Ces gisements, sont en principe, composés de magnétite et de chalcopyrite (avec altérations en peroxyde de fer (martite) et en sels oxydés de cuivre). Ce sont, du Nord a Sud : Bogoslovsk, Troïtsk, Katchkanar, le

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mont Blagodat (Gora Blagodat), Nijni-Taguilsk et le mont Vissokaya, Goumechevsk, Soimonovsk et le mont Magnitnaya. Il en existe beaucoup d'autres.

On peut considérer Troïtsk, Katchkanar et Blagodat comme particulièrement voisins du type Kirunavara, avec même intercalation dans une roche éruptive (porphyre à Troïtsk, syénite augitique à Katchkanar et Blagodat), tandis que les autres se rapprochent davantage du type Banat. Nous ne les séparerons pas pour ne pas rompre l'unité géographique du sujet; ce qui aura en même temps l'avantage de montrer comment ces deux types métallogéniques se relient l'un à l'autre, et nous terminerons par quelques considérations générales sur l'origine de ces gisements.

Bogoslovsk. — A peu près sur le 60e degré, le district de Bogoslovsk, à l'Est de l'Oural, a été surtout renommé pour l'exploitation du cuivre[1]. Les mines, vendues en 1877 par le Gouvernement russe, ont eu une production décroissante depuis 1899. Il y a, dans ce district, des minerais de fer et de cuivre dans des auréoles de métamorphisme rappelant beaucoup le Banat, autour de roches intrusives qui traversent des grès et calcaires dévoniens, et qui gardent ailleurs, par endroits, des lambeaux de la couverture ancienne formée sur eux par des terrains du même âge. Ces roches sont principalement des granites à amphibole, ou des diorites. Auprès d'elles, le calcaire se charge de grenat et de pyroxène et, en même temps, de minerais, qui sont tantôt des sulfures de fer et cuivre, avec un peu de blende, tantôt de la magnétite, attribuable peut-être à des vapeurs de chlorure de fer[2].

Ce gisement, sur lequel nous reviendrons à propos du cuivre, met en évidence l'association du fer à l'état de magnétite avec la pyrite de cuivre : association que nous allons retrouver dans une série d'autres gisements, également rattachés à des auréoles de métamorphisme. On y remarque, en même temps, le polymorphisme pétrographique des roches intrusives, qui ont produit des réactions analogues.

Troïtsk[3]. — La région de Troïtsk, sur la haute Kosva, comprend, suivant Duparc, en partant de l'axe de la chaîne, une première zone de schistes cristallins métamorphiques avec boutonnière de roches basiques, puis

[1] Voir L. De Launay. *Richesses minérales de l'Asie*, p. 551. — Cf. 1897. Fedorov. *Resultate geol. Forschungen im Bogoslovskischen Bergrevier* (Ann. géol. et minier de la Russie, Varsovie, t. 2, p. 114-125; t. 3, 1899, p. 91 à 103). — Nov. 1900. Ouspensky. *Les Gisements métallifères du district de Bogoslovsk* (Journ. des Mines. t 4, Saint-Pétersbourg, en russe). — 1901. Fedorov et Nikitin. *Le District de Bogoslovsk*, Saint-Pétersbourg, 1901 (en russe). — Beck, p. 691 à 744. — Coll. Éc. d. M. n° 1950.

[2] Pour Fedorov, les minerais sont encaissés dans une roche grenato-augitique, primaire et éruptive. Mais l'origine secondaire du grenat est générale en pareil cas. Le grenat est postérieur à l'augite et lui-même se transforme en épidote. Il se développe, en même temps, du quartz et de la calcite secondaire. D'après Ouspensky, une partie de l'hématite est due à l'altération de la grenatite.

[3] 1902 et 1905. Duparc. *Recherches géologiques et pétrographiques sur l'Oural* (2 mém. in-4°. Genève. — 1904. Duparc et Mrazec. *Le Minerai de fer de Troïtsk* (Mém. du comité géolog. russe, liv. 15), avec bibliographie. — Krasnopolsky. *Recherches géologiques sur le versant ouest de l'Oural* (Mém. du Comité géolog., t. 11).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des terrains dévoniens et carbonifères régulièrement plissés (avec du houiller productif), sur lesquels le permien horizontal s'étend vers l'Ouest en discordance. Le dévonien inférieur est traversé par de nombreuses roches éruptives basiques et englobe, près de la Kosva, une intercalation de microgranulites (granite-porphyre acide), à laquelle d'importants minerais de fer semblent très anciennement liés. Nous avons donc ici deux catégories distinctes de roches cristallines : d'abord, une série basique comprenant des pyroxénites à olivine (Kosvites), des dunites, des gabbros à olivine, etc. ; puis une série acide de granites à micropegmatite, microgranulites, etc. La série acide a fourni des galets aux conglomérats dévoniens, que les roches basiques traversent. Les gisements ferrugineux de la série basique, dont nous allons d'abord dire un mot, n'ont pas d'importance pratique par eux-mêmes, mais correspondent à des types précédemment décrits (Scandinavie, Etats-Unis, Alpes, etc).

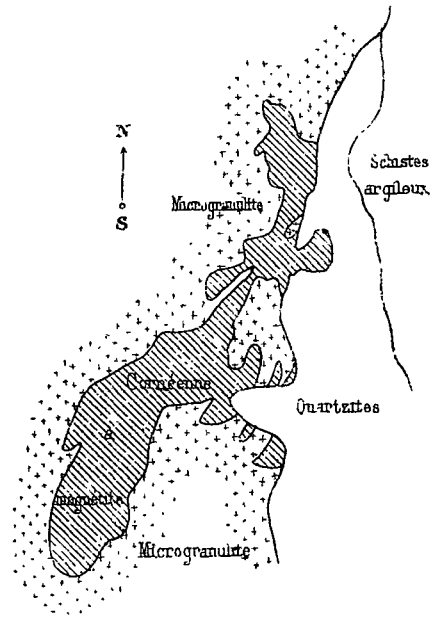


Fig. 193. — Plan de la mine Osamka à Troïtsk (d'après Duparc et Mrazek).

1° Sans entrer dans les détails pétrographiques, on peut assimiler les kosvites à des granites, dont la structure se serait exceptionnellement réalisée en milieu très basique, à des magmas homogènes cristallisés en profondeur et dont dérivent toute une série d'autres roches jouant, par rapport à elles, un rôle analogue à celui des aplites, microgranulites, porphyrites, etc., par rapport aux granites : filons de dunite ou de feldspath, etc.

Or la kosvite est remarquable par l'abondance de la magnétite qu'elle contient en nids ou veinules, pouvant fournir des blocs de 200 kg. ; la dunite, de son côté, renferme d'assez nombreux blocs de fer chromé, qui ne dépassent pas quelques kilogrammes. Les magnétites de la kosvite sont nettement des minerais de ségrégation. Quand cette magnétite diminue, la kosvite rentre dans les simples pyroxénites à olivine. Mais, dans la roche bien caractérisée, la magnétite est abondante et, comme fait le quartz du granite, moule tous les autres minéraux, après lesquels elle a cristallisé. Les dunites sont l'exagération basique de ce magma, comme les aplites sont l'exagération acide du granite.

Ailleurs on a, dans les mêmes conditions, une boutonnière de gabbros ouralitisés, ou des pyroxénites (Tilai), ou des norites, et en résumé, des roches diverses, émanées d'un même magma basique, avec endomorphose probable de sédiments variables, qui ont contribué à en modifier la composition.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

2° Il existe à Troïtsk, près de la Kosva, des gisements de fer magnétique, se présentant dans des conditions remarquables à l'état d'enclaves associées à des cornéennes, qui sont des sédiments métamorphiques, probablement prédévoniens, dans l'intérieur d'un massif de « granite-porphyre acide ». On a reconnu plusieurs semblables enclaves métallifères à Osamka, Ostchepkovsky, etc., dont les dimensions atteignent 527 m. sur 132 à Osamka.

Le massif cristallin, de 8 km. sur 2, qualifié par Duparc de granite-porphyre (microgranulite), contient des types de structures assez variables, manifestement dérivés d'un même magma acide et analogues à ceux de Kirunavara (fig. 193). Ces roches sont, comme cela arrive d'ordinaire, accompagnées de brèches, accusant des compressions mécaniques presque contemporaines et leurs galets se retrouvent dans des conglomérats dévoniens du voisinage : ce qui assigne un âge prédévonien au

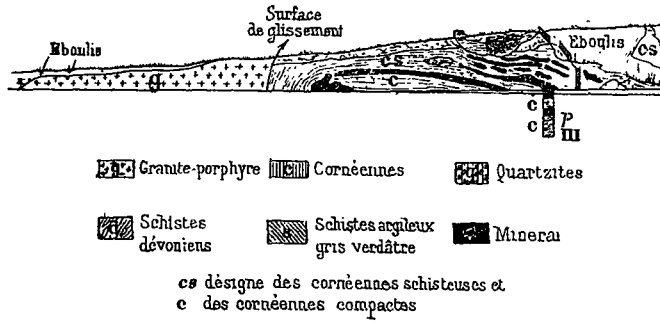


Fig. 194. — Profil longitudinal de la mine Osamka à Troïtsk, d'après Duparc et Mrazek.

minerai de fer, renfermé lui-même, comme nous allons le voir, à l'intérieur de ce porphyre [1].

Cette masse de roches acides a exercé, sur les terrains encaissants, comme sur les enclaves sédimentaires qu'elle renferme, un métamorphisme incontestable, d'autant plus intéressant à étudier que le développement de la magnétite en est peut-être un épisode. Sur la bordure Est se sont développées des cornéennes, contenant aussi, quoiqu'en moindre quantité, de la magnétite, et ce sont également des cornéennes ou hornfels que l'on retrouve au contact des minerais. Ces cornéennes renferment beaucoup de calcite, et les hornfels peu cristallins, qui les accompagnent, sont riches en dolomie, résidu possible d'anciens calcaires dolomitiques argileux, qui auraient pu contribuer à exercer sur le porphyre une transformation par endomorphose.

Si l'on examine maintenant une des mines de fer, Osamka (fig. 193 et 194), on y voit, au milieu des cornéennes et hornfels (c), qui plongent vers l'Est sous le porphyre (g), des minerais de magnétite avec un peu d'oligiste, qui, tantôt, s'interstratifient localement (comme cela se produit toujours dans des sédiments métallisés) par petits bancs ou lentilles

[1] Nous rappelons que, pour Kirunavara, des observations du même genre conduisent également à admettre l'âge ancien du gisement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

allongées dont l'épaisseur ne dépasse pas 1,50 m. et qui ailleurs, sont nettement transversaux aux strates ; les terrains voisins renferment en outre, très fréquemment, des mouchetages de minerais. Le porphyre lui-même contient des grains de magnétite, qui ont plutôt l'aspect de débris repris que de cristaux originaires. La plupart de ces traits rappellent ceux que nous avons étudiés précédemment à Kirunavara, sauf que la magnétite de Troïtsk ne paraît pas être phosphoreuse. Dans notre théorie, l'absence de calcaires à Kirunavara et leur présence ancienne à Troïtsk pourrait y avoir contribué dans une certaine mesure.

Duparc a été conduit à écarter l'idée, assez séduisante au premier abord, de terrains déjà ferrugineux sous une forme quelconque, comme les terrains siluriens de l'Orne ou du Maine-et-Loire, qui auraient été pris, eux et leurs minerais, dans le porphyre, où un métamorphisme aurait été exercé sur eux. Le développement des minerais semble, en effet, lié au voisinage du porphyre et, en quelque sorte, proportionnel au métamorphisme. Il croit plutôt à des fumerolles dégagées en profondeur par le magma granitique acide (comme l'oligiste des bombes volcaniques) et ayant apporté du chlorure de fer dans les terrains pris à l'intérieur du porphyre, où, faute de silice en quantité suffisante pour saturer le fer, une partie de celui-ci se serait isolée. La réaction serait à rapprocher de celles que A. Lacroix a décrites pour les minerais de fer développés au voisinage des granites pyrénéens (Boutadiol). On peut également se rappeler ce qui s'est produit à l'île d'Elbe, où il est fort vraisemblable, comme nous le verrons, que les minerais ont une relation d'origine avec les granites tertiaires et se sont développés par leur influence dans des terrains de calcaires et de schistes, surtout dans les calcaires, dans des conditions comparables à celles des autres produits du métamorphisme. Enfin on doit songer aux auréoles métallifères du Banat ou de la région de Christiania. Dans tous ces cas, on aurait, autour des granites, dégagement, soit de chlorures, soit de sulfures (ou même de carbonates) venant déposer du fer dans les terrains encaissants, sous des formes que la nature de ces terrains contribue à rendre variables. Ce seraient des minerais de fumerolles, à distinguer des ségrégations proprement dites que l'on rencontre ailleurs dans les magmas basiques moins chargés en minéralisateurs volatils, où, du reste, il semble, malgré tout, que ces minéralisateurs aient dû contribuer à la localisation des minerais. Enfin, il y aurait lieu d'en conclure à l'existence probable d'autres enclaves métallifères englobées dans le porphyre et invisibles pour nous.

Katchkanar, Mont Blagodat[1]. — *Katchkanar*, vers le 59e degré, pré-

[1] 1838. Helmersen. *La Montagne Magnitnaya dans l'Oural sept.* (en russe) (Journ. des Mines, t. 3). — 1866. Muller. (Berg und Hüttenm. Zeitung). — 1873. Mostovenko. *Note sur les recherches de la montagne Blagodat* (en russe) (Journ. des Mines, n° 1). — 1875. Lessenko. *Aperçu historique des recherches de la montagne Blagodat* (en russe). (Journal des Mines, n° 5). — 1878. A. Karpinsky. *Aperçu des richesses minérales de la Russie d'Europe.* — 1889. Th. Tchernychev. *Recherches géologiques dans l'Oural en 1888* (Bull. du Comité géolog., t. 8, p. 121-143). — 1897. Tchernychev. *Le Chemin de fer de l'Oural dans les limites des districts miniers de Taguil et de Goroblagodat* (Congrès géologique intern., Guide IX). — 1901. Samoiloff. *Zur Miner. der Bakalskaij-Erzlagerst.* (Sud-Oural) (Verh. d. Rus. Kais. min. Ges. zu St.-Péters., p. 329 à 336 ; russe et allemand).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sente un amas de fer dans une roche augitique traversant les schistes amphiboliques.

55 km. plus au Sud, vers le 58e degré, on trouve, au *mont Blagodat* (ou Gora Blagodat), une montagne de fer célèbre, dont on a évalué le cube total à environ 17 MT. Ce gisement, exploité à ciel ouvert depuis 1730, a produit, de 1813 à 1900, près de 3 MT. de minerai à 54 p. 100 de fer, que l'on traite aux hauts fourneaux de Kouchva, Barantcha, Verknétourié.

D'après les coupes du mont Blagodat, données par Tchernychev[1], le minerai forme des intercalations (trop systématisées sur ces coupes) sous formes de nids, amas, etc., au milieu des roches sodiques dérivées d'un magma syénitique, qui présentent toutes les transitions, soit à des syénites proprement dites, soit à des roches d'orthose compacte, analogues aux hälleflints suédois[2]. Les bancs de minerai ont une inclinaison générale vers l'Est, avec une voûte anticlinale vers le sommet de la colline, reproduisant par conséquent cette allure inter-

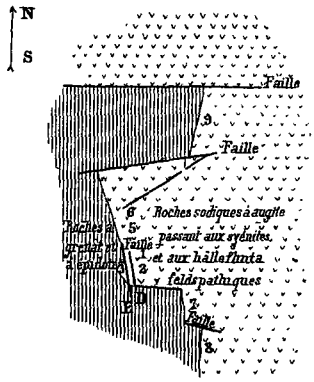


Fig. 195. — Carte géologique du mont Blagodat, d'après Tchernychev. (Gisements de fer 1 à 9.)

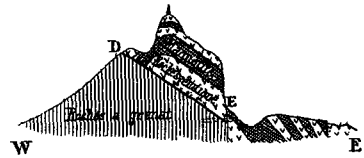


Fig. 196. — Coupe transversale du mont Blagodat, d'après Tchernychev.

stratifiée (ici dans une roche éruptive) que nous avons déjà rencontrée à Troïtsk et que nous retrouverons encore ailleurs (mont Vissokaya, mont Magnitnaya, etc.). A l'Est et au Sud, s'étendent de longues bandes de calcaire dévonien inférieur, auxquelles on serait tenté d'attribuer un rôle dans cette allure singulière, qui doit correspondre à d'anciens filons-couches dans des sédiments métamorphisés. A l'Ouest (fig. 196), une faille limite brusquement la roche syénitique et le minerai connexe contre une roche métamorphique de grenat, épidote, calcite, chlorite, analcime, etc., qui a dû être originellement calcaire[3]. Enfin, on peut remarquer l'existence de nombreuses failles postérieures au minerai, dans lequel elles ont découpé des faces polies en miroirs : failles donnant lieu à des brèches avec débris de fer magnétique.

Le minerai est de la magnétite très pure, qui, en profondeur, se charge de chlorite et prend le nom de minerai bleu, tandis qu'au voisinage de la

[1] Voir fig. 195 et 196.

[2] Ces roches, parfois qualifiées d'orthophyres, ne présentent pas de types microlithiques.

[3] Iakovlev a récemment signalé des rudiments de calcaire au mont Blagodat.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

surface elle est oxydée et rougie. On y remarque l'absence presque complète de phosphore et la présence de traces de vanadium, comme dans la plupart des minerais de fer de l'Oural.

En résumé, nous avons ici un nouveau cas de minerai de magnétite, encaissé, comme celui de Troïtsk et comme celui de Kirunavara, dans une roche non basique à structure microgranitique, et paraissant devoir son origine à des vapeurs ferrugineuses émanées de cette roche, qui ont peut-être commencé par développer des filons-couches de magnétite, avec roches connexes de grenat, calcaire, etc., dans des calcaires dévoniens, ultérieurement disloqués et mis en contacts anormaux les uns avec les autres par des accidents mécaniques.

Mont Vissokaya[1]. — Du mont Blagodat à la mine également célèbre du mont Vissokaya, la distance est d'environ 50 km. par le chemin de fer de l'Oural. Le même massif d'orthophyre se prolonge d'un gisement à l'autre, et des minerais de fer lui sont associés dans des conditions analogues, mais avec accentuation notable des réactions métamorphiques du type Banat : cette fois, ils sont accompagnés, en outre, de cuivre et de manganèse connexes.

La mine de fer du mont Vissokaya (Vissokaya Gora) fait partie du grand district métallifère de Nijni-Taguilsk, où l'on exploite, en même temps, d'autres minerais de fer phosphoreux à la mine Lébiéjaya, du manganèse à Sopolsky, du cuivre à Mednoroudiansk.

Pour comprendre la genèse du fer, il est indispensable d'examiner en même temps le cuivre, le manganèse et les traces de cobalt qui en sont connexes.

En deux mots, les magnétites du mont Vissokaya et les martites (ou sesquioxydes) associées, sont, avec des roches à grenat et épidote (comme à Bogoslovsk, comme à Troïtsk, comme au mont Blagodat), encaissées, à l'état de veines, nids, amas irréguliers, au milieu de syénites et microsyénites à tendance orthophyrique[2]. Comme partout où de semblables roches à épidote et grenat se présentent en connexion avec des roches éruptives dont elles accusent l'action métamorphique, il y a lieu d'y voir la transformation de bancs calcaires, dont, en effet, les affleurements existent immédiatement au Sud des travaux sous la forme de pointements isolés et s'accentuent vers le Sud à la mine de Mednoroudiansk, où nous allons voir leur rôle nettement en évidence.

Les derniers travaux de Iakovlev ont fait reconnaître un anticlinal

[1] 1837. G. Rose. *Miner.-geogn. Reise nach dem Ural, dem Altaï, und dem Kaspichen Meere.* — 1859. P. Iéréméev. *Les Minerais de fer dans les districts miniers de la chaîne de l'Oural* (Journ. des Mines, t. 2, p. 313 ; en russe). — P. Iéréméev. *La martite dans la montagne Vissokaya* (Journ. des Mines, t. 4, p. 438 ; en russe). — 1866. Müller. (B. u. H. Z., p. 185). — 1878. A. Karpinsky. *Aperçu des richesses minérales de la Russie d'Europe.* — 1880. S. Kontkievicz. *Compte rendu des rech. géol. exéc. le long du chemin de fer des mines de l'Oural* (en russe) (Journ. des Mines, t. 2, p. 325). — 1897. Tchernychev. Guide du Congrès géol. intern., IX. — 1898. Travaux de Hogbohm et Bauermann. — 1906. Iakovlév. *Esq. géol. de la région des syénites dans le dist. de Nijné-Taguilsk* (Bull. du Comité géol., t. 25, p. 413 à 448, avec carte, Saint-Pétersbourg ; russe et résumé français).

[2] Voir fig. 197.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

isoclinal de dévonien avec des bancs calcaires, auxquels la plupart des gîtes de fer sont associés. Au contact du magma syénitique avec les calcaires, la syénite s'appauvrit en amphibole et la roche augito-grenatifère apparaît, puis les minerais.

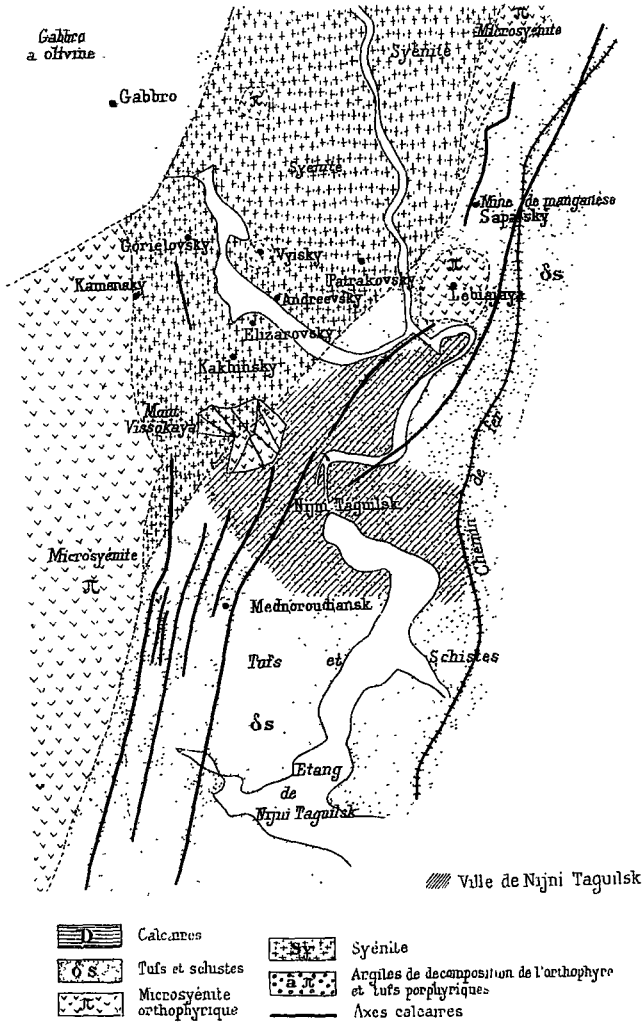


Fig. 197. — Carte des environs de Nijni-Taguilsk, d'après Iakovlev (1906). (Echelle au 1/150 000e.)

Nous trouvons, d'ailleurs, intercalés entre les bancs de porphyre, des lits de minerais à apparence stratifiée plongeant tous vers l'Est ou le S. E. : ce qui, comme nous l'avons déjà remarqué pour les gîtes précédents, représente, suivant toute vraisemblance, la disposition des anciens terrains sédimentaires, au milieu desquels ont dû s'introduire

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

les roches éruptives, avec formation de minerais connexes aux dépens de calcaires altérés. L'analogie est donc très grande avec le mont Blagodat et Troïtsk, où nous avons rencontré de même ces sortes de lits, et le cas de Troïtsk, où les terrains sédimentaires subsistent, seulement transformés en cornéennes, peut aider à comprendre les autres, où ces sédiments ont plus complètement disparu. On retrouve, en outre, ici les traces d'accidents mécaniques postérieurs à la formation du minerai, les failles que nous avons déjà eu à signaler dans les gisements précédents.

Le minerai est de la magnétite, avec association de martite (c'est-à-dire de ce sesquioxyde à forme cristalline de magnétite qui, suivant toute vraisemblance, est une simple pseudomorphose de magnétite en sesquioxyde par altération superficielle). Cette oxydation, dont nous allons voir le paroxysme à Mednoroudiansk, contribue à rendre le minerai friable et facilement réductible au haut fourneau. La teneur de celui-ci est de 65 p. 100. Un peu de zinc y est associé en franklinite; et l'on y trouve aussi du cobalt avec du manganèse qui, en s'oxydant, ont formé de l'asbolane. Le soufre et le phosphore sont très irrégulièrement répartis, l'un à l'état de pyrite cuivreuse, l'autre en apatite, et, naturellement, ce sont surtout les minerais où ces impuretés manquent que l'on a exploités et, par suite, décrits. L'altération superficielle a beaucoup contribué à cette épuration. Néanmoins, dans le quartier de Revdinsk, on a jusqu'à 0,75 p. 100 de soufre et à peu près autant d'acide phosphorique. Nous parlerons bientôt d'un gisement voisin à Lébiéjaya (ou Lébiajinsk), où l'apatite devient visible et souvent très abondante. Le vanadium accompagne, comme d'habitude, le phosphore. Il faut noter encore, entre le mont Vissokaya et Mednoroudiansk, un minerai exploité pour cuivre, qui est une magnétite avec 2 p. 100 de cuivre en pyrite et 0,77 d'acide phosphorique en apatite, et qui paraît correspondre à un type résiduel de ce que pouvait être une partie importante de ces minerais de Taguilsk avant leur altération.

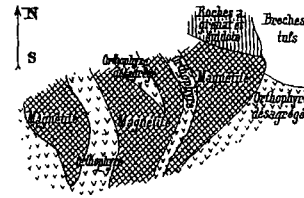


Fig. 198. — Plan de la partie de la montagne Vissokaya, appartenant à l'usine Taguil, d'après Tchernychev.

Les gisements voisins vont nous aider à comprendre cette métallogénie.

Par exemple, la mine *Lébiéjaya*, à environ 5 km. Nord du mont Vissokaya, nous montre un gisement de magnétite analogue et également encaissé dans la microsyénite, mais qui, contrairement au premier, est industriellement déprécié par l'abondance du cuivre et du phosphore. Tout à côté la mine *Ivanov* est un véritable gîte de cuivre. La présence du cuivre prouve seulement la connexion des deux métaux, qui est très générale dans l'Oural et qui se retrouve dans tous les gisements analogues (Scandinavie, etc.), traduite, soit par l'association de la chalcopyrite avec la magnétite, soit par le mélange des deux pyrites de fer et de cuivre. C'est ce que nous allons revoir à Mednoroudiansk. Mais le mélange d'apatite cristallisée et de magnétite (parfois par parties égales) achève de montrer l'analogie avec Kirunavara. Ainsi que je l'ai

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

développé plus haut[1] à l'occasion des gîtes scandinaves, il semble que la présence du phosphore dans les gîtes de fer soit surtout marquée dans ceux qui ont une enveloppe de terrains siliceux, tandis qu'au contact des terrains calcaires, comme au mont Vissokaya, où ces calcaires ont donné les grenats, etc., une épuration du fer a pu se produire, tant par la métallurgie profonde que par des altérations superficielles.

A la mine de manganèse de *Sopolsky*, 1 km. au Nord de Lébiéjaya, le minerai forme des nids associés aussi à des calcaires dévoniens au milieu de schistes. On a ainsi, dans la plupart des districts ferrugineux (île d'Elbe, province d'Huelva, etc.), des parties plus manganésifères, où la teneur en manganèse s'accentue par l'altération superficielle et atteint toujours son maximum là où il existe du calcaire. Les gisements scandinaves, auxquels il faut toujours revenir quand on étudie ces gisements profonds et profondémement métamorphisés de l'Oural, en fournissent d'excellents exemples, à Dannemora, etc.

Enfin, à *Mednoroudiansk*, dont nous donnerons à propos du cuivre les coupes détaillées[2], on doit avoir une association de magnétite et chalcopyrite avec quelques sels de zinc (franklinite ou blende), etc., formant un filon de contact entre les calcaires dévoniens et des orthophyres altérés, des tufs orthophyriques et schistes verts. Le développement exceptionnel des phénomènes d'altération superficielle récente donne à ce gisement son aspect particulier et caractéristique. Il n'est pas douteux que Mednoroudiansk et le mont Vissokaya fassent partie d'un même ensemble métallogénique, où la teneur en cuivre s'est localement accrue (Mednoroudiansk, Lébiéjaya), ailleurs celle en manganèse (Sopolsky), et l'explication qui convient pour l'un doit convenir également pour l'autre.

Goumechevsk et Soimonovsk. — Près d'Iékaterinenbourg, il existe quelques gisements cuprifères, dont le principal est celui de Goumechevsk[3] à 54 km. S. W., qui se présente dans des conditions comparables aux précédentes.

Le gisement de Soimonovsk, à 37 km. de Kychtimsky, vers le 55e degré, est analogue.

Puis vient, après la région de Miass et de Kotchkar (gemmes et filons d'or), un peu au Nord du 53e degré, le grand gisement de fer du mont Magnitnaya.

Mont Magnitnaya[4] — Le mont Magnitnaya, à 65 km. Sud de Verkhéouralsk, sur le versant Sud de l'Oural méridional, présente d'importants

[1] Pages 296 et 301.

[2] Fig. 311 à 315.

[3] Voir plus loin au chapitre du cuivre. — Coll. Ec. d. M. n° 2527.

[4] 1836. Helmersen. (Journ. des Mines, t. 4, p. 335). — 1875. H. v. Trautschold. *Briefe aus dem Ural* (Bull. Soc. Natur. Moscou, t. 49). — 1900. Zemiatchensky. *L'industrie du fer de l'Oural en 1899* (Red. p. le prof. Mendeléev, Saint-Pétersbourg, p. 373). — 1901. J. Morosevicz. *Le Mont Magnitnaia et ses alentours* (Mém. du Com. géol., t. 18, n° 1). — 1904. *Die Eisenerzlagerstätten des Magnetberges im südlichen Ural und ihre Genesis* (Tsch. min. u. pet. Mitt., I, 23). — 1904. A. Kranopolsky. *Rech. géol. dans les alentours de l'usine Lemesinsky* (arrondissement minier d'Oufa) (Mém. Com. géol. russe. Nouv. sér., t. 17). — 1906. L. Koniouchevsky. *Rech. géol. sur les gisements de fer de Zigara et de Komarovo* (Oural méridional) (Mém. Com. géol. russe. Nouv. sér., t. 21).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gisements de fer, en relation très probable, comme ceux que nous venons de décrire, avec des roches granitoïdes à augite.

D'après les études de Morosevicz, ces amas de magnétite, avec quartz (et hématite accessoire comme altération), forment quelques grands amas, le long desquels on trouve toujours une roche de grenat et d'épidote, l'habituel skarn des gisements norvégiens, accompagnée parfois d'une brèche à pâte vitreuse, cimentant un feutrage de cordiérite. Puis vient une série cristalline comprenant des granites à augite, diorites à augite et syénites augitiques, avec types passant à l'orthophyre et des diabases à péridot ou porphyrites diabasiques. Enfin, on peut remarquer quelques îlots subsistants de calcaire dinantien et de marbre : origine très vraisemblable de grenatites, produites par un métamorphisme de contact exercé sur eux. Leur présence montre l'âge carbonifère (stéphanien) des minerais.

On peut ajouter que l'altération superficielle s'est exercée avec intensité, comme suffirait à le prouver l'abondance de la martite, et qu'une partie du peroxyde de fer paraît due à l'altération du grenat. Le minerai renferme 25-50 p. 100 de magnétite, avec 32-58 p. 100 de martite, 10-12 p. de quartz et 2-18 p. 100 de grenat. Il alterne d'une façon fort irrégulière avec les roches stériles grenatifères ou kaolinisées, dans lesquelles il forme des amas, des nids ou des couches. Enfin, vers 15 à 20 m. de profondeur, la pyrite commence à apparaître, montrant qu'ici aussi il a dû y avoir association de sulfures avec les chlorures (ou carbonates) de fer, auxquels on peut attribuer la magnétite. Il semble donc, comme dans les cas précédents, y avoir eu réaction de magmas feldspathiques et augitiques riches en alcalis et pauvres en silice sur d'anciens sédiments calcaires, avec développement au contact ou par substitution de grenats contenant de la magnétite, qui s'est localisée en amas dans les conditions du Banat. Après quoi, l'altération superficielle, en même temps qu'elle formait de la martite aux dépens de la magnétite, a donné, par la décomposition du grenat, d'autre peroxyde de fer avec épidote et, par la décomposition du feldspath, du kaolin.

Origine des gisements. Hypothèses diverses. — J'ai déjà dit que les gisements me semblaient devoir être attribués à une sorte de différenciation avec commencement de départ et intervention de la pneumatolyse. Parmi les autres théories, auxquelles ces minerais ont donné lieu, il en est qui paraissent bien difficiles ou même impossibles à soutenir : celle d'abord d'Helmersen (1836) voyant, dans les amas de magnétite, un épanchement volcanique, ayant coulé comme un torrent de fonte, ou, à l'opposé, la théorie de Bischof (1864), reprise dernièrement, avec une variante, par Morozevicz, dans laquelle le fer serait le résultat d'une altération, soit de l'augite, soit du grenat (qui accompagne presque toujours le minerai par un métamorphisme en relation manifeste avec sa venue). C'est, je crois, par une tendance fâcheuse contre laquelle on doit s'élever, confondre le phénomène primaire de cristallisation avec l'altération secondaire qui n'a fait que transformer ou déplacer légèrement les métaux, depuis longtemps apportés de la profondeur. Il n'est, à notre avis, que deux théories vraiment soutenables,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

toutes deux invoquant l'action des roches cristallines, avec lesquelles le minerai paraît en relation : l'une (Zémiatchensky, 1900) supposant que le minerai de fer préexistait dans des sédiments, seulement recristallisés par l'action du magma igné ; l'autre, à laquelle nous nous rangeons, admettant que le fer procède, d'une manière quelconque, de ce magma (Tchernychev, Beck, Vogt, Fedorov, etc.). Les exemples de sédiments ainsi recristallisés, suivant la première de ces deux hypothèses, existent ailleurs dans des terrains, ou cristallophylliens, ou primaires, avec une quasi-certitude, et il est, en effet, tout naturel qu'il s'en soit produit, étant donné l'abondance des dépôts ferrugineux dans les terrains qui ont pu se trouver soumis au métamorphisme. Mais toutes les descriptions de gîtes ouraliens accusent un rapport intime du fer avec les roches syénitiques, tandis que les sédiments non enclavés dans ces roches ne contiennent pas de minerais pareils, et souvent même les sédiments font tout à fait défaut auprès de la magnétite, ou se bornent à des calcaires (transformés ou non en grenatites), dont les conditions de dépôt (récifs coralliens, etc.), n'impliquent pas la possibilité d'une sédimentation ferrugineuse. Il est donc extrêmement probable que le fer a été apporté par la roche ignée, qu'il dérive d'elle.

Dans ces conditions, nous écarterons encore l'idée d'une différenciation proprement dite : les gisements ouraliens n'accusant en aucune façon ces passages progressifs qui caractérisent les ségrégations du type Taberg en Scandinavie, ne se trouvant pas du tout dans les mêmes roches et enfin montrant constamment, dans les enclaves sédimentaires pincées par la syénite, une disposition interstratifiée, qui (l'idée de sédiments recristallisés ayant été écartée), doit impliquer des filons-couches. Nous croyons l'idée de la différenciation particulièrement discutable dans la thèse de Fédorov (1898), qui fait intervenir les grenats (selon nous, un produit caractéristique du métamorphisme exercé sur des sédiments), comme un point de départ de sa différenciation, supposée avoir agi sur un magma augito-grenatifère. Nous arrivons donc à l'idée d'une émanation ayant eu pour point de départ le magma syénitique et s'étant concentrée sur des fissures par pneumatolyse : soit dans de simples fractures de la roche, soit de préférence dans les délits des sédiments enclavés (d'où l'apparence de filons-couches).

La nature de ces sédiments a dû avoir une influence capitale, tant mécanique par la disposition résultante pour les fissures, que chimique par les doubles réactions connexes. Les gisements les plus purs, à la fois les plus dépourvus de phosphore et les plus manganésifères, par conséquent ceux que l'industrie a particulièrement recherchés, ont eu généralement un rapport avec des calcaires, et c'est même en relation avec ces calcaires que se trouvent, d'une façon absolue, la plupart des grands amas.

AUTRES GISEMENTS DE FER DANS LES ROCHES ACIDES

District de l'Iénisséi (Touba, Irba, Akabansk). — Les montagnes situées sur les deux rives de l'Iénisséi supérieur, dans les districts de Tchebaki et de Minoussinsk, présentent un certain nombre de gisements de fer, dont

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'importance industrielle, est, ce semble, médiocre mais dont l'intérêt théorique est réel, en raison du rapprochement qu'on peut établir avec les gisements précédents. On est amené, dans un cas comme dans l'autre, à l'idée d'un départ par pneumatolyse ayant procédé de roches cristallines, syénites, felsites, etc, pour concentrer l'oxyde de fer dans des cassures, avec épuration particulière au contact des calcaires.

Dans le bassin de la *Touba*, on a signalé, au milieu de la granulite, des nids de magnétite assez importants pour avoir été exploités D'autres poches de magnétite se sont trouvées dans des felsites, avec des caractères scandinaves. Il existe également des veines de magnétite (parfois à structure oolithique[1], mine Ermakovsky) au milieu de brèches et tufs associés aux trapps.

Le gisement de fer de l'*Irba*, sur le Kisouir, appartenant à la Couronne, a alimenté une usine de 1760 à 1829[2]. Il est sous la forme de poches ou stockwerks de magnétite, alignés sur environ 1 600 m. de long et ayant chacun individuellement 100 à 200 m. de long sur une cinquantaine de large. On en connaît 7 principaux, dont le plus grand a 170 m. sur 47 m. La section horizontale de l'ensemble représente 24.000 m². Admettant, d'après les travaux, une épaisseur moyenne de 14 m., on est arrivé à supposer un cube de 340 000 m³, ou 1 600 000 t., en minerai à 65 p. 100 de fer magnétique. La magnétite très compacte, accompagnée à sa périphérie de martite produite par son altération, est encaissée entre un granite à pyroxène et un hälleflint ou un pétrosilex formant toit, dans des conditions qui pourraient faire songer à Kirunavara, mais sans trace de phosphore. Dans l'amas n° 7, où le toit est en pétrosilex, celui-ci repose directement sur le minerai. Dans le cas du hälleflint, il y a passage par une couche siliceuse vert sombre riche en magnétite grenue ou onduleuse. Le contact du minerai et du hälleflint est incliné à 50°. Au voisinage se trouve, dans la même concession, une importante veine de galène avec barytine et calcite, au contact du calcaire et du pétrosilex.

A *Akabansk*, la mine de Magnitnui, à 2 km. de la rivière Abakan et 200 km. en amont de Minoussinsk, est analogue à celle de l'Irba. Un stockwerk de magnétite, formé de plusieurs masses disjointes, se trouve au contact des calcaires ou dolomies et des porphyres. On évalue sa longueur totale à près de 2 km., son épaisseur à 6,5 m., sa profondeur à 32 m., et son cube à 1,5 MT. La teneur en fer est de 54 à 69 p. 100. Le phosphore y est seulement à l'état de traces. Une usine, existant depuis 1869, occupe 2.500 hommes. Le charbon jurassique de Yasikh, à 40 km. Sud de Minoussinsk, sert au traitement.

Phnom-Deck (Cambodge)[3]. — On retrouve au Cambodge un type analogue.

Ce gisement, depuis longtemps utilisé en petit par les indigènes, consiste en un puissant amas vertical encaissé dans les porphyres anciens :

[1] Voir plus loin, p. 339, un fait analogue à Nicolaievsk.

[2] *Expl. géol. le long du Transsibérien.* YAVOROVSKY. Compte rendu des explorations de 1893 (Saint-Pétersbourg, 1895), p. 121 à 125, avec carte géologique.

[3] L. DE LAUNAY. *Asie*, p. 738.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

amas composé surtout de magnétite et d'oligiste, avec de la sidérose et de la limonite. Les caractères en sont souvent bréchiformes et conglomératiques. Le minerai est de bonne qualité, à une teneur de 50 à 55 p. 100 et Fuchs avait évalué son cube à six ou sept millions de tonnes.

Cerro de Mercado (Durango)[1]. — La région de Mapimi, El Oro, etc., dans l'État de Durango, est fameuse par ses gisements métallifères dont nous aurons à reparler : or à El Oro, cuivre et plomb à Mapimi, mercure à Otinapa ; argent à Guanacevi, Topia y Copalquin, San Andres, etc. On y trouve, en même temps, de grands gisements de fer filoniens, dont l'exploitation est appelée à se développer un jour.

Le filon du Cerro de Mercado, qui peut servir de type, présente une association remarquable d'hématite et d'apatite, qui, par son encaissement dans une rhyolite, peut faire penser à Kirunavara. Il a 1 500 m. de long, suivant une direction EW et forme un grand dyke, encaissé dans la rhyolite avec ramifications à l'Ouest. Ce dyke, élevé de 100 m. au-dessus de la plaine, est constitué par de l'hématite en masses compactes et grenues, sans magnétite, avec des cristaux disséminés de martite, de la calcédoine, de l'apatite assez fréquente et, rarement, du phosphate de fer. On a également signalé de la topaze. La teneur moyenne est de 55 p. 100 de fer, 0,08 de manganèse et 1,32 de phosphore. L'absence de soufre, comme l'abondance du phosphore, le manque de ces vides caractéristiques que laisse la pyrite dissoute, ne permettent pas d'expliquer ce gisement par l'oxydation d'une masse de pyrite, ainsi qu'on est en droit de l'admettre pour tant d'autres filons ferrugineux.

K. — MAGNÉTITE ASSOCIÉE AVEC DES PORPHYRITES A OLIVINE (NIKOLAIEVSK)[2]

Un type très particulier de gisement ferrifère, situé en Sibérie, sur l'Angara, à Nikolaievsk, a été décrit par Von Gorecki et Bogdanovitch.

Deux lignes parallèles de gisements E.-W forment là des veines verticales dans des brèches et tufs, reliés au système des trapps paléozoïques, qui, lui-même, recoupe en les métamorphisant les grès rouges et argiles bariolées siluriens ou dévoniens. Les terrains sont faiblement ondulés par des plissements calédoniens ayant pu avoir un contre-coup hercynien et, en outre, localement disloqués par des cassures en rapport avec la montée des trapps. Sous ce nom de trapps on comprend des roches très diverses, depuis des structures cristallines (gabbros, diabases à olivine) jusqu'à des structures effusives et vitreuses. La composition moyenne correspond à des porphyrites augitiques avec olivine. Les phénomènes qui ont produit leur mise en place ont eu manifestement plu-

[1] 1884. J. Birkinbine. *The Cerro de Mercado* (Tr. Am. I. Min. Eng., t. 13, p. 189). — 1893. R.-T. Hill. *The occur. of hematite and martite iron ores in Mexico* (Am. J. Sc. fév. p. 111). — 1902. M.-F. Rangel. *Los criaderos de fierro del Cerro de Mercado* (Bol. Inst. geol. Mexico, n° 16). — 1904. Farrington. *Some Notes on the Cerro de Mercado* (Eng. min. J., t. 78, p. 345-346).

[2] 1903. Th. von Gorecki. *Die Magneteisensteinlagerstätten der Hütte Nikolaiewski Zavoet* (Z. f. pr. G., p. 148 à 154 avec cartes). — 1903. Bogdanovitch. *Traité des gîtes métallifères* (en russe). — 1911. L. de Launay. *Asie*, p. 502.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sieurs phases réparties sur une longue durée et la métallisation paraît en être un dernier épisode.

La magnétite avec quartz et géodes de calcite, à structure concrétionnée, remplit des veines qui atteignent 3 m. de large. Elle est accompagnée de quartz, de sidérose et, par réaction secondaire, de gypse. L'étude théorique des gisements est rendue difficile par le rôle considérable des altérations superficielles, qui en masquent les caractères primitifs. On observe presque constamment, auprès d'eux, un développement de minéraux secondaires, zéolites, chlorite, calcite, etc., qui accuse ces transformations ultérieures, prouvées d'autre part par des pseudomorphoses de magnétite en martite.

Pour la genèse primitive de ces gisements singuliers, on peut remarquer que, très probablement liés aux porphyrites à olivine, ils ne sont pourtant jamais dans ces roches mêmes, mais dans leurs tufs et brèches : ce qui exclut l'idée de fer emprunté aux trapps par simple sécrétion latérale. Des pseudomorphoses d'hématite en magnétite laisseraient supposer que l'hématite a été au début la forme dominante de l'oxydation du fer, peut-être avec un peu de sidérose. Cette hématite aurait été produite par du carbonate ou du chlorure du fer émané de la roche éruptive en dissolution siliceuse. Ultérieurement, l'hématite aurait été transformée en magnétite par l'un des agents connus de cette réduction (chaleur, hydrocarbures, etc.). Puis des circulations d'eau superficielles auraient produit les minéraux secondaires précédemment cités. On peut remarquer que la magnétite n'est accompagnée d'aucun sulfure, contrairement à ce qui se passe dans les gisements du Banat et de Traverselle et que, le long des filons, les brèches ont été cimentées par de la silice englobant de la magnétite. Certains gisements, comme Iermak et Kechemsk, renferment de la magnétite sous la forme inusitée de grosses oolithes.

L. — GISEMENTS AU CONTACT DES ROCHES ÉRUPTIVES ET DES CALCAIRES. TYPES BANAT ET TRAVERSELLE

Banat. — Généralités[1]. — Parmi les gisements visiblement dérivés des roches éruptives, mais pourtant séparés de celles-ci, qui nous servent ici de transition entre les ségrégations et les filons, il y a lieu de faire une place spéciale à ceux qui se sont développés en terrain calcaire.

A vrai dire, ce rôle des calcaires dans le développement des minerais de fer ne nous est pas nouveau et nous l'avons rencontré déjà pour les gisements de l'Oural, dont quelques-uns, nous l'avons annoncé alors,

[1] Gisements visités en 1883. — 1855. Boué. *Sur les mines de fer de Maidan-Pek en Serbie* (B. S. G. F., 2e, t. 13, p. 63; B. S. G. F., 2e, t. 4, p. 302). — 1864. Cotta. *Erzlagerst. im Banat und Serbien. Wien.* — 1886. Sjögren. *Beitr. zur Kenntniss der Erzl. von Moravicza und Dognacska* (J. d. K. K. g. Reichs., t. 36, p. 626). — Suess. I, 640 et 644. et bibl. en notes — 1897. V. Kerpely. *Die Eisenerz Vorkommen Ungarns.* — 1899. Przyborski. *Das Eisenerzgebiet von Morawitza (Vaskö) und Dognaska im süd. Ungarn* (B. u. H. Z., t. 58, p. 73 à 75,... 169 à 171. — Rozloznik et Koloman Ernrzt. *Beitr. z. gen. petr. u. chem. Kenntniss der Banatite* (J. d. U. geol Anst., t. 16, p. 190, avec bibl. — 1910. *Iron ore Resources of the World*, p. 267 à 271.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

passent au type que nous voulons étudier ici ; nous le retrouverons plus généralement pour bien des minerais de substitution. Il comporte, presque toujours, le même développement de minéraux caractéristiques : grenat, pyroxène, etc., associés au fer.

Comme nous l'avons dit à propos de l'Oural, comme nous le verrons mieux maintenant, ces minerais du type Banat présentent, en même temps que cette gangue silicatée, une association caractéristique de la magnétite avec les sulfures. Nous considérons de tels gisements comme correspondant à une profondeur de cristallisation déjà notable et comme impliquant, par conséquent, l'action simultanée du métamorphisme avec les cristallisations filoniennes ordinaires. C'est, à tous égards, une forme de passage entre les manifestations presque uniquement ignées de la ségrégation et les manifestations, au contraire hydrothermales, des filons proprement dits.

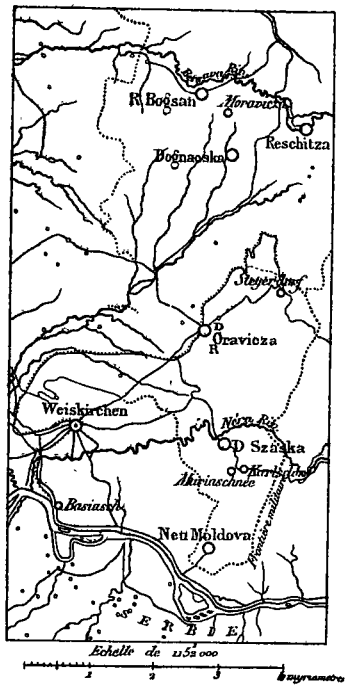


Fig. 199. — Carte d'une partie du Banat de Temesvar, d'après Castel.

Dans ces gisements du type Banat, il est manifeste que le fer est un apport interne de la roche éruptive. Cela se traduit par sa surabondance, aussi bien dans les grenats ferrugineux que dans les amas isolés de magnétite. Kemp a signalé, à ce propos, dans le gisement de San José (Tamaulipas), sur le prolongement d'une zone grenatifère que l'on avait suivie jusqu'à la diorite, une fracture à cristallisations géodiques de pegmatite qu'il a considérée comme la cheminée d'apport des produits métallifères. Il ne paraît pas y avoir eu refusion complète, mais substitution par pneumatolyse [1]. Les roches éruptives connexes, d'âge supra-crétacé dans le Banat ont été réunies là par v. Cotta sous le nom général de banatites. Elles injectent des failles de torsion dans des conditions analogues, d'après vom Rath, à celles où se présente la tonalite de l'Adamello.

Ces roches, qui ont des types grenus relativement profonds, doivent, d'après Rozloznik, être divisées en deux groupes : *A*. diorites quartzifères passant à des porphyrites ; *B*. gabbro-diorites et roches du groupe syénito-dioritique, contenant de l'orthose en même temps que des feldspaths calco-sodiques. Les dernières sont fortement ferrifères et contiennent une teneur notable en titane, bien qu'il ne se soit pas développé de fer titané au contact.

Tout cet ensemble éruptif traverse, en les métamorphisant et les dis-

[1] Voir plus haut généralités, p. 85 à 88 et, spécialement, p. 87.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

loquant, les schistes cristallins et les calcaires tithoniques, déjà plissés précédemment par un mouvement mécanique qui a fait apparaître au jour les combustibles jurassiques de Steierdorf et de Doman. Le miocène, au contraire, s'appuie sur elles en couches horizontales : ce qui fixe, entre le néocomien et le miocène, l'âge de leur apparition.

On distingue (fig. 199) trois traînées principales de calcaires métallisés : 1° Moravicza-Dognacska ; 2° Oravicza-Cziklova, et 3° Szaszka-Moldova[1].

Au contact de la banatite, les calcaires traversés par elle sont devenus saccharoïdes et se sont transformés en marbres. En outre, dans l'intervalle entre le calcaire et la banatite, il s'est produit une brèche à éléments calcaires, chargée de quartz et de feldspath et cimentée par du grenat, que les mineurs appellent la *gangue*. Cette gangue qui, au voisi-

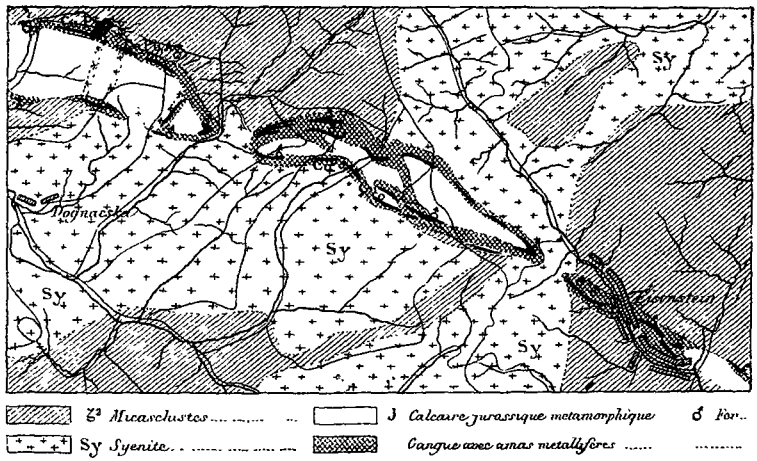


Fig. 200. — Carte géologique de la région de Dognaska. Echelle au 1/50 000e,

nage des schistes cristallins, renferme beaucoup de trémolite et de hornblende, contient, à l'état de lentilles irrégulièrement disséminées, des minerais extrêmement divers que l'on retrouve et que l'on exploite depuis la Hongrie jusqu'à la Serbie : à Milova et Rezbanya, en Hongrie ; à Moravicza (Vaskö), Dognacska, Oravicza-Csiklova, Szaszka, Moldova, dans le Banat ; à Kuczaina, Rudnik et Maidanpek, en Serbie.

Ces minerais sont, suivant les points, du fer oxydulé, du fer oligiste, avec des sulfures divers, pyrite, chalcopyrite, galène, blende, etc., mélangés en proportions variables. On y a trouvé également de l'or natif et, à Neu-Moldeva, une association intéressante d'or-piment et réalgar avec fluorine.

Après en avoir extrait autrefois du cuivre et du plomb, on n'y travaille plus aujourd'hui que pour le fer. Nous reviendrons néanmoins sur plusieurs de ces gîtes à propos des minerais complexes, aux chapitres du cuivre et du plomb ; mais nous insisterons seulement ici sur les gîtes de fer proprement dits.

[1] Voir une carte dans Beyschlag, Krusch et Vogt, p. 354.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Banat. — Moravicza (Vaskö) et Dognacska. — De Dognacska à R. Bogsan, sur 13 km. de long (fig. 200), une bande de banatite de 2 300 m. de large est entièrement comprise dans les micaschistes, sauf au centre où elle a rencontré et métamorphisé un lambeau de calcaire jurassique. Il s'est formé là, près de Moravicza, une gangue grenatifère très nette contenant trois groupes de mines : 1° au Nord, autour de Moravicza (Eisenstein), des amas de fer oxydulé et de fer oligiste; 2° au centre du district, des sulfures divers associés aux amas de minerais de fer limités au voisinage de la surface; 3° au Sud, des gîtes de cuivre, zinc et surtout plomb argentifère, à l'affleurement desquels un peu d'hématite ne joue plus qu'un rôle secondaire.

D'une façon générale, tous ces gîtes sont absolument limités comme

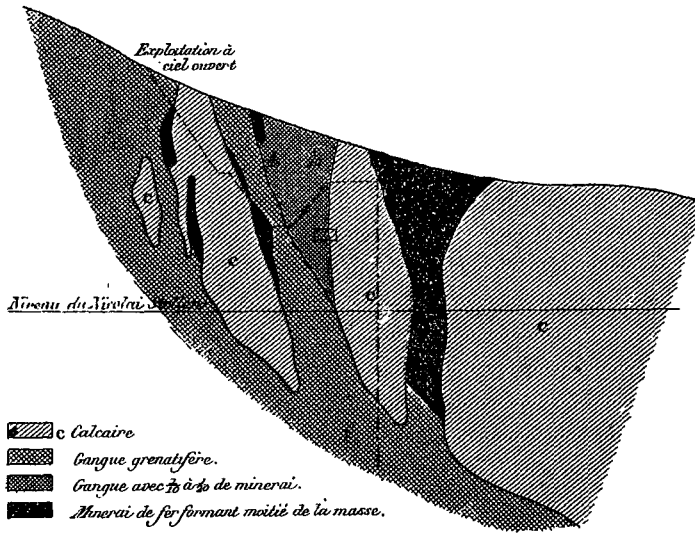


Fig. 201. — Coupe SW-NE de la mine Paulus. Echelle au 1/2 000e.

l'est le calcaire lui-même, qui a joué, dans la précipitation des métaux, un rôle essentiel.

Le type des gisements du premier groupe a été donné par les mines Paulus et Franciscus. A *Paulus* (fig. 201), on trouve un amas considérable de gangue grenatifère enveloppant quelques gros lambeaux calcaires détachés du massif principal Les amas de minerai les plus volumineux sont dans la gangue, au contact du calcaire; dans le reste de la masse, le minerai est disséminé irrégulièrement et constitue parfois la moitié du volume total. La section de cette masse ferrugineuse était, à la surface, de 4 000 m². A *Franciscus,* il ne subsiste plus de rognons calcaires au milieu de la gangue : on a simplement une série de lentilles de minerai de fer alignées dans cette gangue, qui remplit elle-même une sorte d'entonnoir.

Plus au Sud, on trouve, à *Reichenstein,* à *Pierre et Paul,* etc. (fig. 202), des amas lenticulaires de fer magnétique à peu près pur, presque adhé-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rents au calcaire, allongés suivant la direction et l'inclinaison. L'amas de Pierre et Paul avait, au jour, 40 m. de long sur 10 m. de large. En profondeur, il s'est imprégné de pyrite de fer et perdu dans la gangue.

A *Arpad*, on a une veine d'hématite manganésifère de 0m,60 à 1 m. d'épaisseur moyenne, rendue impure par la présence d'un peu de plomb.

Au *Bleistock*, c'est le plomb qui dominait : à la surface, on a eu un amas de galène de 3 000 t. mélangé de cuivre oxydé. A *Simon Judas*, des minerais de cuivre, cuivre pyriteux, cuivre panaché et cuivre sulfuré, un peu argentifères avec gangue grenatifère, formaient une poche d'environ 120 m. de haut sur 25 m. de diamètre moyen. La teneur à la surface était de 300 kg. de cuivre et 600 gr. d'argent à la tonne. Après quarante-cinq ans

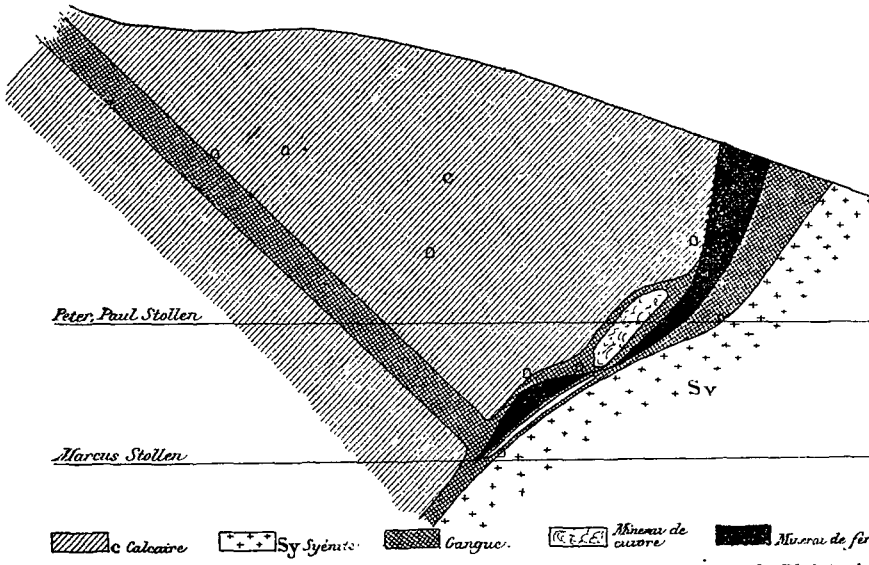


Fig. 202. — Coupe WNW-ESE de la mine Pierre et Paul, passant par le Bleistock
Echelle au 1/2 000e

d'exploitation, de 1740 à 1784, on est arrivé au fond de la poche, où la teneur n'était plus que de 2 p. 100 de cuivre. La *Carolina* contenait de la calamine dans un entonnoir de 40 m. de diamètre, etc. Enfin les gisements du troisième groupe, au Sud, consistent en nids, en rognons de galène, blende, cuivre pyriteux, etc...

Ces divers gisements alimentent les usines de Resicza-Anina et la même fracture métallisée paraît se prolonger en Serbie à Maidanpek.

Traverselle[1]. — Les mines classiques de *Traverselle* et *Brosso* sont à 20 km. en amont d'Ivrée sur la rive gauche de la Chiusella. On y a exploité, à diverses reprises, des amas de magnétite, pyrite et chalcopy-

[1] Coll. Ecole des Mines, 1518 et 1729. — 1862. Burci (Berg. u. Hütt. Zeit., p. 101). — 1863. Piret. *Rapport sur les mines de Traverselle* (Paris, chez Poitevin). — 1886. Babu. *Mémoire manuscrit à l'Ecole des Mines.* — 1902. Novarese. *Die Erzlagerstätten von Brosso und Traversella in Piemont* (Z. f. pr. G. p. 179 et Bol. R. com. géol. 1901, fasc. I, p. 75 avec bibliographie).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rite, avec sulfures divers subordonnés, au contact de la diorite, dans des bancs calcaires intercalés au milieu de micaschistes. Ces gisements, qui, malgré leur célébrité, étaient assez mal connus jusqu'ici, ont été récemment assimilés par Novarese aux minerais du Banat. Les minerais exploités, la magnétite et la chalcopyrite à Traverselle, la pyrite de fer non cuivreuse et autrefois l'oligiste à Brosso, ne sont que quelques-uns des produits du métamorphisme, caractérisé surtout par un groupement de silicates analogues à celui qu'on observe dans le Banat, dans divers gisements de Scandinavie (où existe une semblable association de magnétite ou d'oligiste avec des minerais sulfurés plus ou moins complexes) et enfin à l'île d'Elbe, où nous l'étudierons plus tard. On peut également rapprocher de ces minerais les phénomènes de contact avec production d'oligiste décrits par A. Lacroix dans les Pyrénées. Il semble que, dans tous ces cas, le départ de fumerolles profondes, qui a dû généralement avoir lieu au contact de roches basiques, ait pris, par la présence des calcaires, un type spécial, tenant peut-être aux réactions chimiques exercées par le calcaire, soit sur la roche ignée, soit sur les fumerolles. On sait, par exemple, que du basalte en fusion avec du calcaire peut donner de la magnétite et que du perchlorure de fer avec de la calcite produit de l'oligiste. Les modifications secondaires ont, en outre, joué un rôle, qui, pour la période récente, est caractérisé par la présence de grottes ouvertes, mais qui, pour une phase plus ancienne, a pu être suivi d'un métamorphisme régional, superposé au métamorphisme de contact proprement dit dont il vient d'être parlé.

Ce rapprochement, qui se trouve indiqué par la métallogénie entre la région de Traverselle et le Banat, tire un certain intérêt de l'analogie tectonique qui pourrait exister entre les deux régions. Les roches post-crétacées du Banat ont été, depuis longtemps, comparées par G. vom Rath aux tonalites de l'Adamello, dont on peut chercher la suite dans la zone d'Ivrée, à laquelle se relie le gîte de Traverselle[1].

L'exploitation de Traverselle date au moins de 1487. L'idée de reprendre la mine pour cuivre est de 1850 et est due à Sella. On a cherché alors à séparer magnétiquement le fer oxydulé du cuivre en faisant tourner une roue à 12 branches avec bobines de fer doux au-dessus des minerais placés sur une toile sans fin allant en sens contraire : procédé également employé en Suède pour le triage de la magnétite. Comme ce minerai contient un peu de mispickel, on le grillait d'abord afin de recouvrir ce mispickel d'une croûte oxydée un peu magnétique et de l'enlever ainsi. La dernière tentative pour exploiter Traverselle, comme mine de cuivre, date de 1884; elle a eu peu de succès. Actuellement Traverselle est inexploité; Brosso a une faible production.

Sibérie. — Dans le district de Nertchinsk, nous avons décrit ailleurs[2]

[1] La diorite de Traverselle est distincte de celle d'Ivrée; mais elle s'y rattache évidemment par son origine. On peut également, comme l'a fait remarquer E. Suess (*loc. cit.*, I, 769), rapprocher de ces massifs le Clayton Peak des Mts. Wasatch, formé de granite avec semblable couronne de gisements métallifères.

[2] *Rich. Min, de l'Asie*, p. 529. — 1908. Reoutovsky. *Rich. min. de la Sibérie* (en russe), p. 87 à 89. — Inostrancew. *A.-A. Gediegen Roheisen von der Russischen Insel bei Wladiwostock* (Soc. Imp. d. Naturalistes de Saint-Pétersbourg, t. 35, liv. 5, Sc. Geol. et Mineral., p. 21-57).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

un certain nombre de gisements de fer associés à des roches ignées: magnétite avec diabase à *Kalga*, magnétite avec diorite à la *Dranetcha*.

Plusieurs amas de magnétite sont là au contact de porphyres, syénites ou granites à amphibole avec des calcaires: le tout rappelant, par conséquent, le groupe métallogénique de l'Oural étudié plus haut.

A *Bielogora*, à 12 km. Nord du port d'Olginski, dans la baie d'Olga, sur l'Océan Pacifique, on connaît un gisement analogue, mais beaucoup plus important. Le minerai suit le contact d'une roche qualifiée de porphyrite avec un calcaire. Comme toujours au contact des calcaires, il est accompagné de grenat, dans des conditions qui font penser au Banat. Un premier amas au Nord a 300 m. de long sur 2 à 20 m. de large. Après 300 m. d'interruption, un second a 160 m. de long et une largeur atteignant 60 m. On évalue le cube total à au moins 1.500.000 t., pouvant monter au triple. Les minerais tiennent de 50 à 57 p. 100 de fer; de 2 à 3 p. 100 de manganèse; de 10 à 20 p. 100 de silice et environ 2,50 p. 100 d'alumine.

Un gîte analogue, à 15 km. S.-E. de Bielogora, se trouve à 8 km. du golfe de Saint-Vladimir. Il a 200 m. de long sur 6 m. de large.

Asie (Caucase, Turkestan, Japon). — De même encore dans la région caucasique, au N.-W. du lac *Gokcha*, entre Erivan et Elisabethpol, on trouve, en relation avec des roches éruptives du groupe des diabases ophitiques, mélaphyres et porphyrites, etc., un certain nombre de gisements de fer, sous la forme, ou d'oligiste cristallisé, ou de magnétite.

On cite, par exemple, à 6 km. N.-E. de l'usine Tchatakh, entre Tiflis et Alexandropol, un porphyre dioritique renfermant, en proportion irrégulière, des paillettes, ou même des rognons d'oligiste. Une roche analogue se trouve sur la rive gauche de la rivière Lebed, présentant, avec l'oligiste, un peu de pyrite.

Ces gisements, en rapport direct avec des roches éruptives, passent à des formations de contact du type Banat entre des roches cristallines et des calcaires, qui contiennent quelquefois du cuivre ou du cobalt. Par exemple à *Dachkessan*, près de Kédabek et à Kédabek même, il existe comme nous le dirons, un peu de magnétite avec le minerai de cuivre.

Enfin, dans le *Turkestan russe*, ce type est très représenté. Parfois le plomb y domine, plus rarement le cuivre. Mais le groupe, dont nous nous occupons ici, est surtout caractérisé par le développement fréquent de la magnétite, qui peut arriver à constituer des gîtes exploitables. Il existe, en Turkestan russe, beaucoup de ces gisements formés par des amas de magnétite atteignant 30 à 40 m. avec grenat et sulfures métalliques divers (galène ou chalcopyrite), au contact des syénites et des calcaires.

La région où ces phénomènes sont tout spécialement développés est à l'extrémité Est du Turkestan russe, entre le Tien-chan et le lac Balkach, notamment près de *Kouldja* (sur l'*Ili*, affluent du Balkach, vers 81° de long. et 44° de lat.) dans l'Alataou de Dzoungarie, l'Altyn-émel, etc.

On y signale notamment la gorge de *Sary-Boulak*[1], à 30 km. Nord de *Souidoun*, où l'on observe, au contact de la syénite avec des schistes et calcaires traversés par elle: d'une part, de nombreuses veines de

[1] 1906, Mouchketov. *Loc. cit.*, p. 270 et 287.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

galène dans une gangue grenatifère ; de l'autre, un amas de magnétite de 8 m. sur 20 et au moins 10 m. de profondeur, avec pyrites de fer et de cuivre, dans une gangue de grenat. Ce dernier gisement, d'après la coupe de Mouchkétov, est englobé dans la syénite, sans doute sur une enclave calcaire. Les principales veines, très irrégulières d'épaisseur, sont, en moyenne, parallèles à la direction générale des syénites et renferment, dans une masse de grenat atteignant 0,70 m., la galène, la pyrite cuivreuse et la magnétite disséminées.

On cite encore près de *Kouldja*, la gorge de *Talka*, sur le mont *Tchébandy-sai*, où la zone grenatifère, située sur un contact semblable de granite rouge et de calcaire, renferme de nombreuses veinules et nids de galène, chalcopyrite, etc.

Enfin au *Japon*, à *Kamaichi*, dans le Nord-Est de la Grande île (39°,20), entre 500 et 1.000 m. d'altitude au-dessus du port du même nom, on a, dans les gneiss recoupés par du granite et de la diorite relativement récents, des amas de magnétite accompagnés de grenat et d'épidote, qui se présentent donc à nous dans les conditions minéralogiques où nous sommes habitués à rencontrer tous ces gîtes de contact du type Banat. La ressemblance est accentuée par la présence fréquente de la pyrite et de la chalcopyrite. Sur 5 km. de long, on a des séries d'amas verticaux ayant 20 m. de large, qui sont souvent au contact immédiat de la roche éruptive et dans lesquels le grenat peut se substituer à la magnétite. Un autre gisement moins important a pu être, avec des interruptions, suivi sur 4 km, mais est très disloqué et large au plus de 5 m. On ne signale pas la présence de calcaires au contact ; mais la présence du grenat doit faire supposer leur existence. Le minerai tient, en moyenne, 0,02 à 0,05 p. 100 de phosphore. Sa teneur en soufre varie beaucoup, comme dans tous ces gîtes susceptibles de tenir de la pyrite visible. On extrait environ 50 000 t. par an, avec 220 ouvriers.

Fukuchi, dans un travail que nous avons eu déjà l'occasion de signaler, a groupé un grand nombre de gisements japonais semblables.

Ouest-Américain. — Cette région comprend de nombreux gisements inexploités, et individuellement d'extension restreinte, au contact des roches éruptives et des calcaires et le même type se poursuit au Mexique.

Magnétite accessoire de gisements sulfurés associés à des roches éruptives. — Je crois intéressant de signaler, comme types extrêmes des magnétites associées aux roches éruptives, quelques cas où la magnétite devient un élément accessoire dans un remplissage sulfuré.

Nous décrirons, par exemple à propos du cuivre, les amas filoniens de Kédabek, où des sulfures complexes sont encaissés dans la microgranulite. La magnétite est, en même temps, assez fréquente.

Nous verrons également qu'à Pierrefitte, le long de microgranulites ayant pu exercer une influence sur la minéralisation, des filons-couches de sulfures plombo-zincifères renferment de la magnétite en proportions notables.

On peut encore citer, pour une association analogue sans roches érupti-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ves, les gîtes de Sterzing et du Mont Chemin ; puis ceux de Boundary en Colombie Britannique, où des chalcopyrites aurifères avec magnétite et pyrrhotine forment des zones filoniennes à gangue quartzeuse dans des calcaires broyés[1].

M. — GITES DE FER FILONIENS

Il est rare de trouver le fer sous une forme exploitable dans un filon proprement dit, quand ce filon ne traverse pas des terrains calcaires et n'a pas donné lieu ainsi aux phénomènes de substitution, qui, par leur importance, méritent d'être étudiés à part et qui seront envisagés[2] dans le paragraphe suivant *N*. Cependant on doit signaler deux groupes principaux de filons de fer : les uns restés sous leur forme primitive (oligiste ou sidérite) ; les autres, dont l'allure actuelle a été produite par altération et action de surface.

Dans le premier groupe, nous aurons d'abord à citer (1°) quelques veines d'hématite ou de magnétite parfois dérivées assez directement des gisements de contact autour de magmas granitiques, où l'oxyde de fer paraît avoir cristallisé directement par l'intervention de chlorures. Nous verrons ensuite (2°) que la sidérite, elle aussi, paraît avoir pu se former dans des conditions analogues, avec gangue quartzeuse, forte teneur habituelle en manganèse et accompagnement de minerais sulfurés.

Dans le second groupe, nous citerons les gisements, parfois très développés, qui doivent être considérés comme des chapeaux de filons pyriteux (3°) et nous mentionnerons également certaines concentrations ferrugineuses, qui semblent s'être produites par simple altération de surface et lessivage latéral de roches basiques, donnant alors naissance à des veinules sans continuité profonde (4°).

1° VEINES D'OLIGISTE

Nous avons vu, à l'occasion des gîtes de ségrégation, qu'il s'est développé des amas de fer oxydé dans un certain nombre de roches, les unes basiques (type Taberg), les autres plus acides (type Kirunavara et Oural). Nous avons également rappelé, à ce propos, que les contacts de granite avaient, dans divers cas, provoqué la cristallisation de l'oxyde de fer, accompagnant parfois de l'étain, parfois du cuivre, parfois même du plomb. On ne doit donc pas s'étonner que des départs ferrugineux, où le fer paraît avoir directement cristallisé en oxyde, sans intervention de sulfures, aient pu, à l'occasion, incruster des fissures, soit de la roche mère, soit du terrain encaissant, et prendre, par suite, une véritable allure filonienne.

Iron Mountain et Pilot Knob (Missouri)[3]. — Ces gisements, qui rappellent particulièrement le type Kirunavara, se composent de veines

[1] Voir également Lindgren. (Trans. of. Am. min. Eng., t. 30 et 31).

[2] Page 364.

[3] 1869. Kleinschmidt. (B. u. H. Z., p. 357 et 373). — 1876. Wedding. (Zeitsch. f. B. H. u. S. W. im. preus. St., t. 24, p. 343). — Kemp. *Ore dep. of the Un.* — *St.*p. 114 (avec coupe, analyses et bibliog. p. 118).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'hématite spéculaire assez phosphoreuse au milieu de porphyres quartzifères et de mélaphyre porphyroïde. Les veines d'Iron-Mountain, recoupées par une faille, se rattachent à un amas de 10 ou 12 m. de puissance. L'analogie avec Kirunavara est accentuée par l'abondance de l'apatite, qui, en se dissolvant, donne parfois aux minerais d'affleurement un aspect caverneux.

Whitney avait attribué à ces gisements une origine éruptive. F. L. Nason a parlé de lits sédimentaires pour Pilot Knob. D'après Kemp, Iron Mountain est un gîte filonien, avec incrustation de fissures dans le porphyre, ailleurs substitution possible et, à Pilot Knob, il y a en outre infiltration des eaux ferrugineuses dans des couches tufacées. Pendant longtemps on a exploité là des graviers ferrifères superficiels, aujourd'hui épuisés.

Boutadiol et Kaymar[1]. — Le gîte de *Boutadiol* (Ariège), étudié par A. Lacroix, est également un cas typique d'oxyde de fer (ici de la magnétite) dû à des émanations granitiques.

Au *Kaymar*, dans l'Aveyron, il existe, à travers un monticule de micaschistes borné par des calcaires liasiques et du granite, trois filons d'hématite manganésifère larges de 4 à 10 m. avec un peu de spath fluor.

Erzgebirge. — On connaît également, dans l'*Erzgebirge Saxon* et le *Harz*, d'assez nombreux filons d'hématite rouge, notamment vers le contact du granite de Schwarzenberg. L'hématite y est généralement accompagnée de quartz et de silice ferrugineuse. Dans beaucoup d'entre eux, on observe que cette formation silico-ferrugineuse s'est substituée à de la calcite, de la barytine, de la fluorine : ce qui accuse une formation postérieure et laisse, par conséquent, incertain, sur le caractère réel de la minéralisation ferrugineuse, qui pourrait ici avoir eu une origine secondaire et superficielle[2].

Gleissingerfels. — Le cas paraît différent pour les gisements de *Gleissingerfels*[3], dans le *Fichtelgebirge*, où l'on a exploité, pendant trois cents ans, des filons de quartz et oligiste larges parfois de 10 m. Cet oligiste forme, tantôt des écailles ou tantôt des rosettes dans le quartz. Il est accompagné de pyrite, qui semble pourtant augmenter en profondeur. Les filons traversent une granulite à grenat et tourmaline tenant elle-même un peu d'oligiste ; et l'on s'est demandé s'il n'y aurait pas eu départ direct par pneumatolyse de ce magma granulitique, ainsi que nous allons être amenés à le supposer pour certains filons de sidérite.

[1] On trouvera dans A. Lacroix (*Min. de la France*, t. 3, p. 276,) quelques gisements minéralogiques français d'hématite avec quartz, parfois avec anatase et brookite (Oisans). — Voir, sur des minerais de fer filoniens français : 1846. Daubrée. *Zone d'amas ferrugineux placés le long des failles à la jonction des grès des Voges et du muschelkalk dans le Bas-Rhin* (B. S. G. F., 2e, t. 3, p. 169). — 1854. Meugy. *Sur le gisement, l'âge et le mode de formation des minerais de fer du département du Nord et de la Belgique* (Ann. d. M., 5e, t. 8, p 147). — 1858. Ch. Sainte-Claire Deville. *Sur les minerais de fer de Champrobert et d'Arleuf* (Morvan) (B. S. G. F., 2e, t. 15, p. 726). — 1861. Piette. *Sur l'âge des minerais de fer du Sud du plateau des Ardennes* (B. S. G. F, 2e, t. 17, p. 572).

[2] Beck, *loc cit.*, I, 265.

[3] 1907. W. Fink. *Das Eisenglimmer Vork. am Gleissingerfels* (Geogn. J., t. 19, Munich).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Framont. Wildersbach. — Parfois, dans ce genre de gisements, la magnétite intervient. Les meilleurs types de cette association se trouvent dans les Vosges : en particulier à *Framont*, qui a été depuis longtemps décrit par Élie de Beaumont[1]. On a là des filons de quartz avec oligiste et magnétite, associés à des micro-granulites traversant des granites, qui eux-mêmes recoupent le dévonien. La magnétite est surbordonnée. La pyrite paraît rare. Elle serait pourtant, d'après A. Lacroix, le minerai originel dont dérivent les oxydes. En même temps, il y aurait, d'après le même auteur, toute une série de sulfures et de produits de leur altération, avec de la fluorine.

Dans un gisement analogue de la même région, à *Wildersbach*, on trouve un peu de fluorine, et de tourmaline, comme nous allons le voir pour certains gisements de sidérite. Aux affleurements, il s'est formé de l'hématite et de la limonite.

Asie.— Des faits analogues ont été signalés sur divers points de l'Asie. Ainsi l'on connaît en Transbaïkalie, dans le district de *Nertchinsk*, sur la rivière Bérézovaïa, un filon d'oligiste recoupant le granite.

Dans le Turkestan russe, le territoire de *Sémiretchié* contient un beau filon d'oligiste pur de 6 à 7 m. de puissance encaissé dans de la syénite, à 25 km. Sud de la station Aïna-Bolak, district de Kopal. Ce filon a 1 km. de long et, d'après ses affleurements, doit contenir au moins 500 000 t.

Divers autres filons d'oligiste existent dans ce district, associés à des syénites : soit qu'il y ait eu cristallisation directe de vapeurs de chlorure de fer émanées de la syénite, soit qu'on ait passé d'abord par la forme sulfurée avec altérations ultérieures.

Enfin, nous rappelons, à ce propos, la présence fréquente de la magnétite dans les filons du groupe cuprifère ou stannifère directement dérivés des magmas granitiques (type Traverselle pour l'association avec le cuivre, type Bangka pour l'association avec l'étain).

2° FILONS DE SIDÉRITE

Les filons, où la sidérite intervient comme gangue de minerais métallifères sont nombreux, parfois même avec le groupe de l'étain comme pour les filons de cryolite d'Evigtok, dans d'autres cas avec des groupements plombifères (Saxe), plus souvent avec de la pyrite cuivreuse.

On peut, à ce propos, se poser souvent le problème délicat de savoir si cette sidérite est un produit originel, ou le résultat d'une altération superficielle Le second cas est fréquent. Mais le premier semble se présenter aussi; et divers filons nous apparaissent comme ayant été dès le début incrustés par des carbonates divers, dont le carbonate de fer est le plus important. On est amené, comme nous le verrons, à se demander si, dans

[1] Coll. Ec. des Mines : 2276 (Rathau), 2279 (Schirmech), 2574 (Framont). — 1822. E. De Beaumont. *Notices sur les mines de fer de Framont et de Rothau* (Ann. d. M. t. 7, p. 521). — 1901. Lacroix. *Min. de la France*, t. 3, p. 270 (avec bibl. minéralogique). — 1905. Th. Muller. *Die Eisenerz. v. Rothau und Framont im Breuschthal* (Vogesen), 55 p. Strasbourg.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

les conditions de départ cupro-stannifère qui forment une auréole aux magmas granulitiques, il n'y aurait pas eu quelquefois précipitation directe du fer à l'état de sidérite. Des gisements comme ceux de Szepes-Gömör où la sidérite s'accompagne de tourmaline, sont tout en faveur de cette idée. Cela n'empêche pas, devant la sidérite, de penser aussi à des réactions secondaires, où l'acide carbonique aurait été emprunté, soit aux terrains encaissants, soit à l'atmosphère. Il serait facile de multiplier les exemples de sidérite associée à du cuivre gris sur des affleurements de chalcopyrite et disparaissant plus bas. C'est là un groupement tout à fait courant, qui incite à examiner de très près certains des gisements décrits plus loin, où les sulfures métalliques, et notamment la chalcopyrite, ont volontiers tendance à s'associer avec le carbonate de fer.

On remarquera que beaucoup des filons de sidérite étudiés ici affectent l'allure de filons-couches (Rosenau, Allevard, Arditurri, Lugo, Léon, etc.).

Pays de Siegen[1]. — L'une des régions où ce type de gisements prend son plus large développement industriel et présente, par suite, son plus grand intérêt, est le pays de Siegen. On est là, il faut le noter aussitôt, sur un plateau primaire transformé en pénéplaine par une très ancienne érosion et où les phénomènes d'altération semblent avoir été très prolongés. Tandis que le reste du massif schisteux rhénan présente des plissements hercyniens très accusés, les schistes argileux du dévonien inférieur[2], dans lesquels ces filons sont partout encaissés, témoignent d'un déplacement vertical en forme de horst, avec des fractures qui ont souvent suivi les filons métallifères, eux-mêmes résultant de failles incrustées. On est sur un compartiment morcelé par effondrement à l'époque du dévonien moyen et dont les couches ont été plus tard peu affectées par les plis de l'époque carbonifère. En outre, les gisements sont très anciens; car l'un d'eux, à la mine Glaskopf, entre Betzdorf et Daaden, a été recoupé par une diabase dont l'âge est au plus éo-dévonien, et transformé en magnétite à l'intersection. On pourrait donc songer à invoquer une carbonatation par altération de surface datant de l'époque primaire et ramenée ultérieurement en profondeur par un phénomène tectonique. Il est certain que, dans ce cas, comme dans bien d'autres, les sulfures métalliques, pyrite, chalcopyrite, blende, galène, accompagnent très fréquemment la sidérite et pourraient être considérés

[1] Coll. Ec. d. M., 2338, 2628 à 2631. — 1863. Nöggerath. *Die Grube Stahlberg. bei Musen* (Z. f. B. H. u. S. im pr. St., t. 2, p. 63). — 1865. Hilt. *Die Eisensteinlagerst. der Grube Louise bei Horhausen* (Z. f. d. pr., t. 13, p. 13). — 1882. Schmeisser. *Ueber das Unterdevon des Siegener Landes u. die darin aufsetzenden Gänge* (J. d. K. pr. Landesanst., p. 43-148). — 1882. Leybold. *Beschr. d. Eisenerzg. Wingeshardt, Friedrich Eisengarten*, etc. (J. d. K. pr. geol. Landesanst., p. 3 à 47). — 1887. Mundt Gerlach. Roth et Schmidt. *Beschr. der Bergrev. Siegen, Burbach u. Musen* (Bonn). — 1899. Köhler. *Die Störungen in den Spatheisenst. Gr. des Siegerlandes* (B. u. H. Z., t. 19). — 1905. Denckmann. *Zur Geol. des Siegerlandes* (J. d. K. Pr. geol. Landes, t. 25, p. 569). — 1907. Lotz. *Alter der Siegerländer Erzgänge* (Z. f. pr. G., p 251-253.) — 1908. Rezow. *Das Ganggebiet des Eisenzecher Zuges* (Z. f. pr. G., pr. 305-328). — 1909. Einecke et Köhler. (Iron Ore Resources, t.2, p. 677 à 681 et pl. 39).

[2] On a rattaché les filons à 8 horizons stratigraphiques principaux.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comme un résidu du gîte primitif. Par contre, le quartz, dont la proportion semble augmenter en profondeur, paraît avoir cristallisé en même temps que la sidérite. Il faut encore remarquer que, si le métamorphisme de la sidérite en magnétite a pu se produire dès l'éo-dévonien, cela conduirait à reporter antérieurement à cette époque la formation, supposée secondaire, de cette sidérite. Enfin, on est descendu très profondément dans certaines mines, ainsi à 635 m. à la mine Storch et Schöneberg,

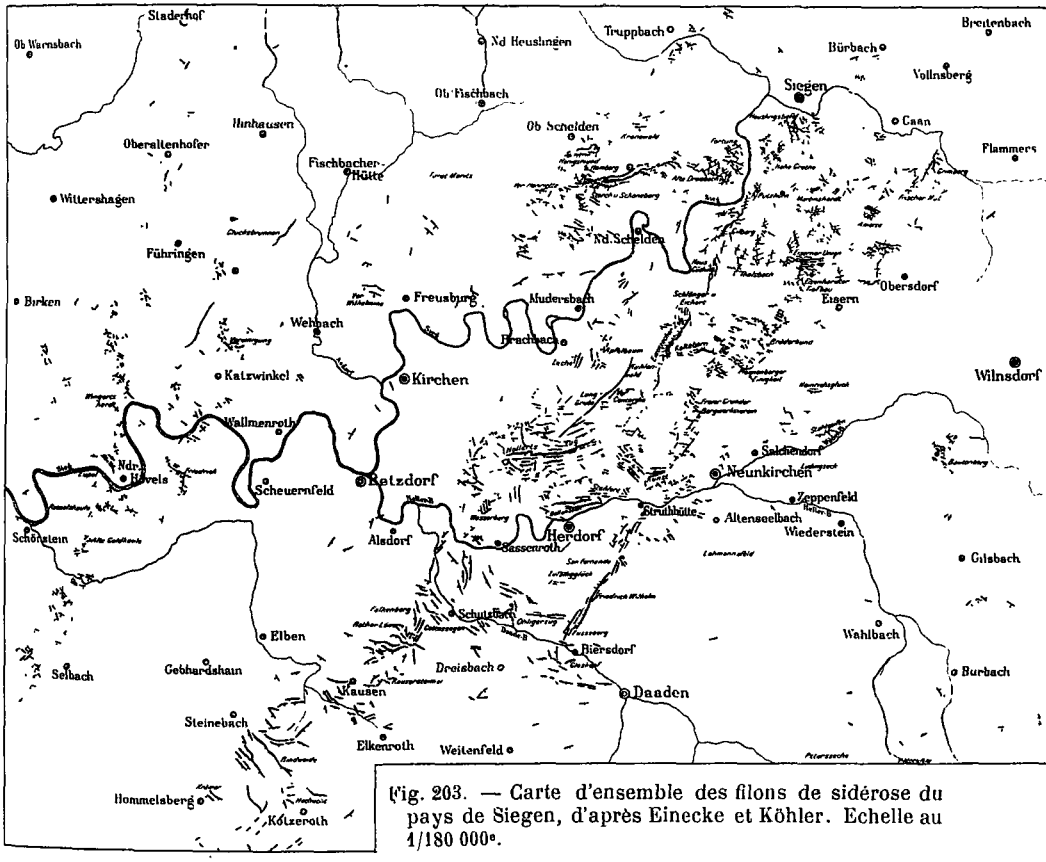


Fig. 203. — Carte d'ensemble des filons de sidérose du pays de Siegen, d'après Einecke et Köhler. Echelle au 1/180 000e.

sans voir disparaître la sidérite, qui est, en général, manganésifère. On a même cru observer que la proportion des sulfures associés tendait à diminuer en profondeur. On est donc à peu près contraint d'admettre ici, en résumé, un gisement originel de sidérite manganésifère.

Ces filons du district de Siegen couvrent, comme le montre la fig. 203, une zone de 5 km. de large sur 25 km. de long au S.-W. de Siegen. Dans cet espace, le sol apparaît criblé de veinules sans continuité, ayant pour la plupart la direction générale de la zone ou une direction perpendiculaire. Mais on trouve, dans ce faisceau, quelques fractures puissantes et continues, qui sont celles exploitées et dont la largeur atteint parfois

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

30 m. L'un de ces filons, le Eisenfelder Zug, a été suivi sur 15 km. de long, et nous venons de parler de 635 m. de profondeur. La production, qui atteint au total 2 000 000 t. dans le pays de Siegen et qui fait de ce district le second de l'Allemagne pour la production du fer, accuse cette impression. Par exemple, le filon de Gosenbach avec les mines Storch et Schöneberg, a produit, à lui seul, en 1905, 264.000 t. ; en 1908, 365.000 t. ; le filon Eisenfelder, avec la mine Eisenzecher, 350.000 t. (1908), la mine Pfannenberg-Freiergund, 234.000 t., etc.[1].

Partout, dans ces gisements, l'altération superficielle de la sidérite a donné de l'hématite avec des oxydes manganésifères.

Parmi les filons du district de Siegen, nous citerons ceux de *Stahlberg*, près Musen.

A Stahlberg (fig. 204), un amas, prolongé par des veines nombreuses, traverse les phyllades du dévonien inférieur. L'amas, limité d'un côté par

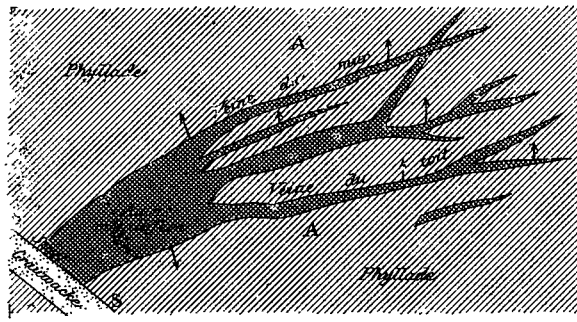


Fig. 204. — Plan du gîte de Stahlberg près de Musen, d'après Ad. Noggerath.

des failles argileuses dites stuff, a 30 m. de large sur 60 m. de long. Les trois veines principales ont de 2 à 6 m. de puissance et sont exploitables sur 120 m. Au delà, elles se perdent sous forme de veinules quartzeuses ou d'enduits stériles.

Le remplissage consiste en sidérite blonde manganésifère contenant des nids de pyrite, de chalcopyrite, de cuivre gris ou de galène, qui établissent bien la transition avec les filons de cuivre gris, blende, etc..., où la sidérite n'est plus qu'une gangue accessoire.

De même à *Horhausen*, cercle d'Altenkirch, près Coblentz,[1] un filon de fracture net entre la grauwacke et le phyllade, de 4 à 6 m., rarement 10 m. de puissance, est exploitable sur 400 m. de long. Il contient un mélange massif de sidérite et de quartz avec veinules de pyrite de fer, chalcopyrite, bournonite, cuivre gris, blende, stibine, smaltine et chloantite. Au contact d'un filon de basalte qui suit le filon de minerai et le traverse plusieurs fois, la sidérite s'est transformée en magnétite sur

[1] Les mines en exploitation dans le pays de Siegen sont au nombre de 58. Les frais moyens sont de 11,20 fr. par tonne de carbonate cru et 14.40 par tonne de carbonate grillé. La plus grande partie est traitée sur place dans 21 hauts fourneaux. Le cube des minerais restants jusqu'à 700 m. de profondeur a été estimé récemment à 46 MT.

[2] 1865. Hilt. (Z. f. d. B. H. u. S. im pr. St., t. 13, p. 13). — Beck, *loc. cit.*, I, 252.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

quelques centimètres d'épaisseur, comme au contact des diabases signalées plus haut. La mine Louise, sur ce gisement, contient de beaux exemples de psilomélane stalactiforme qui témoigneraient en faveur d'un remaniement secondaire.

Vogtland, Szepes-Gömör. — Toujours dans le même ordre d'idées, on peut encore signaler les anciens filons de sidérite du *Vogtland Saxon* (Leubetha) et ceux de *Kotterbach*, dans le district de Szepes ou Zips (Haute-Hongrie). Une description récente de ce district de *Szepes-Gömör*, au Sud du Tatra, par Schafarzik, accuse quelques faits intéressants à mettre en évidence [1].

Ici, notamment à *Rosenau*, on trouve la sidérite en filons-couches remplissant une série de baillements lenticulaires dans des schistes, au milieu desquels se trouvent des porphyroïdes, considérés comme des micro-granulites métamorphisées analogues à celles des Ardennes. La sidérite à grain fin, associée à du quartz, est mélangée en faible quantité de pyrite, chalcopyrite et tétraédrite argentifère; mais la particularité du gîte est le développement de la tourmaline, aussi bien dans la sidérite que dans le quartz. Suivant l'auteur, tourmaline et sidérite auraient pénétré ensemble assez loin dans les terrains encaissants. R. Beck rappelle, à ce propos, quelques autres exemples de tourmaline dans des filons de sidérite au Brésil. On sait également que la tourmaline entre dans les remplissages de pyrite aurifère. On peut, dans le cas présent, ajouter la production connexe d'albite. Cet ensemble conduirait donc à admettre l'intervention de magmas granulitisants ayant donné lieu, comme on le constate directement pour tant de gisements, à des émanations ferrifères, et cette association de la sidérite avec un produit de départ granulitique fait également penser à la présence, déjà rappelée, de la sidérite dans le remplissage à type stannifère d'Evigtok.

Dans la même région hongroise, on a décrit un grand nombre de filons ferrifères formés de sidérite et d'ankérite [2], avec altération en hématite brune. Ceux de la société de Kaltowitz sont au contact du grès carbonifère et du calcaire triasique. Le filon Luzia, dans le comitat d'Abauj-Torna est entre des schistes argileux et des micaschistes, avec une largeur moyenne de 4 à 8 m. pouvant atteindre 24 m. Il est formé de sidérite à veines lenticulaires transversales de pyrite, chalcopyrite et quartz.

Dobsina (Haute-Hongrie). — A *Dobsina* (Dobschau) [3], dont nous aurons à décrire les gisements de nickel et cobalt, on a reconnu, au Langenberg, un amas de sidérite, passant à l'ankérite vers la base et altéré en limonite

[1] 1905. Hugo von Böckh. *Die geol. Verh. des Vashegy*, etc. (Mitth. a. d. Jahrb. d. Kgl. Ung. geol. Anst. t. 14, fasc. 3).— 1906. Fr. Schafarzik. *Daten zur genauen Kenntniss des Szepes Gömörer Erzgeb.* (Math.—Nat. Ber. aus Ungarn, t. 23, fasc. 3, p. 264).— Beck, I. 264. — 1910. Von Loczy. *Iron ore Resources of the World*, p. 178 à 180.

[2] *Iron ore Res.* p. 213 — Voir Coll. Ec. d. M. divers gisements de sidérite hongrois : 1050 (Rimamurany); 1144-1149 (Tiszolez, etc.); 1154 (Kotterbach); 2107 (Derno); 2576 (Gömör); 2506 et 2861 (Sohl).

[3] Coll. Ec. d. M., n° 1601. — 1900. Voit. *Geogn. Schild. d. Lagerst. Verh. von Dobschau in Ungarn* (Jahrb. K. K, t. 50, fasc. 4).— Beck, t. 1, p. 504.— 1910. Von Loczy et von Papp. *Iron ore Resources of the World*, p. 194.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

à la partie supérieure, qui forme une sorte de filon-couche horizontal au-dessus d'une diorite quartzifère dans laquelle il pénètre par des poches. Cet amas, est à son tour, recouvert par des grès, schistes et calcaires carbonifères. Il faut, sans doute, l'envisager comme un cas particulier dans tout un système filonien de sidérite et chalcopyrite, particulièrement riche par endroits en sulfures de nickel et de cobalt. Lui-même renferme parfois jusqu'à 2. p. 100 d'oxyde de cobalt. Certains filons sont particulièrement cobalto-nickélifères; d'autres, au contraire, ne renferment que du fer spathique sur 3 m. de puissance.

Allevard (Isère)[1]. — En France, nous avons, dans la région de Vizille et d'Allevard, un exemple intéressant de ce type de filons, dans des conditions tectoniques toutes différentes de celles du pays de Siegen, puisqu'au lieu d'un gisement ancien dans une pénéplaine primaire, il s'agit de filons tertiaires dans une chaîne de plissement alpine, mais encore avec des intercalations lenticulaires rappelant le cas de Rosenau.

Il existe, dans les Alpes occidentales, une zone métallisée qui commence au Sud du Pelvoux par l'Argentière et Château-Voux, et se développe au Nord dans l'Oisans, le Dauphiné, la Maurienne et la Tarentaise. Cette zone comprend, dans les terrains les plus divers du précambrien hypothétique au jurassique supérieur, des filons d'âge tertiaire à remplissage complexe, où dominent, tantôt les chalcopyrites et pyrites (avec transformation superficielle en cuivre gris et sidérose) comme dans le groupe d'Allevard que nous étudions ici, tantôt les pyrites et chalcopyrites faiblement aurifères, parfois accompagnées de mispickel et de stibine (la Gardette, Auris, la Combe de Theys), ailleurs les sulfures de nickel, cobalt et argent (les Chalanches), ailleurs encore les galènes argentifères (l'Argentière, Château-Voux, Grand Clot, Chazelet, Macot, Pesey, etc). Les filons de la zone d'Allevard traversent les schistes cristallins en pénétrant localement dans le houiller et le trias. Ce sont des filons très purs et très réguliers de sidérite avec dolomie ferrugineuse et quartz, qui, aux affleurements, donnent une « mine douce », un peroyde, sur lequel ont porté de très anciennes exploitations, dont on voit partout les scories disséminées. Ils ont localement une allure interstratifiée (fig. 205).

Des traces de cuivre ont fait un moment explorer certaines parties de ces filons plus riches en chalcopyrite ; mais on s'est vite aperçu qu'il y avait, au contraire, avantage à rechercher les minerais purs, bien exempts de cuivre. Néanmoins la rencontre de chalcopyrite ou de blende est fréquente. La sidérite d'Allevard est, comme beaucoup d'autres (groupe de Batère au Canigou, etc.), riche en manganèse : elle est alors, d'ordinaire, à petites lames (rives) ; ailleurs elle est à grandes lames et plus pauvre (maillats).

[1] Coll. Ecole des Mines, 1914. — Feuille de Saint-Jean de Maurienne. — 1779. *Anciens minéralogistes de la France*, t. 2, 667. — 1844. Gueymard. *Statistique de l'Isère*, p. 380 à 383 et 449 à 497. — 1860. Lory. *Géologie du Dauphiné*, p. 148 à 153. — 1877. Tirloir. *Gîtes métall. du Dauphiné* (Soc. Et. Sc. nat. Nîmes, p. 4 à 10). — 1880 81. H. Küss. *Note sur les filons de fer spathique du canton d'Allevard* (B. S. G. F., 3e série, t. 9, p. 699). — 1895. L. De Launay *Les gîtes métallifères des Alpes* (Monde moderne, mars. p. 441). — 1906. L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie* (p. 28 et 30).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Des fers carbonatés du même genre se trouvent le long de la grande traînée houillère de la Maurienne : aux Sarrasins, au-dessus de Modane dans le houiller ; à Montgirod, près Moutiers, dans le trias, etc. Toutes ces exploitations, déjà anciennes, rencontrent un appauvrissement notable en profondeur.

Un grand nombre de concessions ont été instituées autour d'Allevard sur les communes de Pinsot, la Ferrière, Saint-Pierre-d'Allevard et Allevard ; mais la principale est celle de la *Taillat*, reprise il y a plus d'un siècle par la Société des forges et hauts fourneaux d'Allevard et, depuis 1875, par le Creusot. Cette mine est reliée à l'usine d'Allevard par un chemin de fer à voie étroite. Ce district qui, de 1878 à 1899, a pu produire un million de tonnes et qui, vers 1895, fournissait 40 à 50 000 t. de fer spathique, est tombé en 1908, à 6 500 t ; en 1909 à 8 200.

Guipuzcoa. — En Guipuzcoa, il existe, à *Arditurri*, des filons-couches de sidérite enclavés dans les schistes paléozoïques. Leur épaisseur atteint 16 m. Leur cube est évalué à 5 MT. Quelques-uns d'entre eux renferment des minerais de cuivre, comme dans le groupe d'Allevard.

Nord-Ouest de l'Espagne. — Il existe, dans les schistes cambriens de la province de *Lugo* en Espagne, des filons-couches de plusieurs kilomètres de long. (Villaodrid, Puebla de Brollon), où l'hématite passe en profondeur à la sidérose. Celui de Villaodrid produit 180 000 t. par an. Dans la province de *Léon* des filons-couches du même genre de sidérose altérée, encaissés dans les schistes siluriens sur 22 km. de

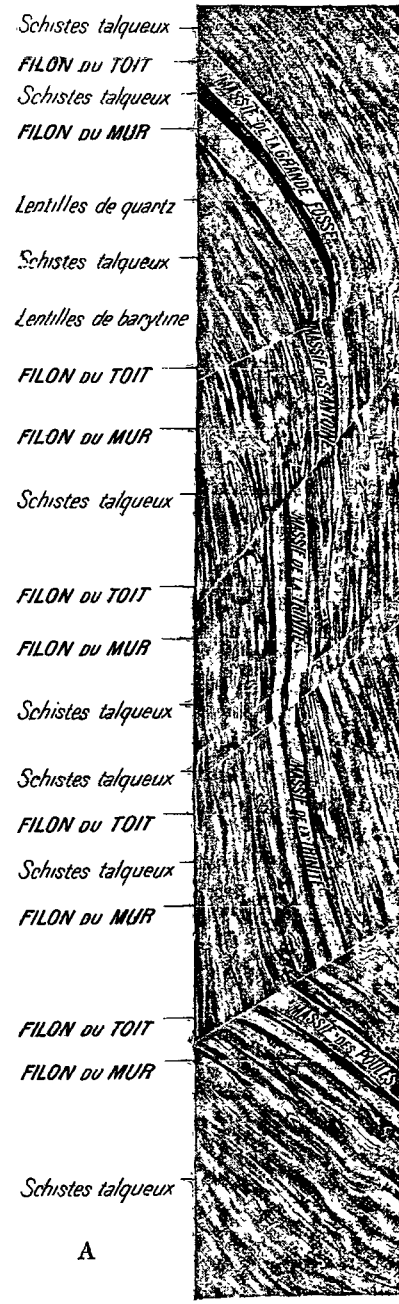


Fig. 205. — Coupe du gisement de fer spathique à la mine de Saint-Georges (Allevard) (la longueur de la figure est horizontale).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

long, aux mines Wagner, entre Ponferrada et Astorga, sont estimés contenir 25 MT.

La même province de Lugo contient, en plusieurs points, des couches ferrifères de plusieurs mètres d'épaisseur, situées également, sur des kilomètres de long, entre les schistes cristallins et les schistes cambriens (Vivero, Muras, Baamonde, Germada), ou dans les schistes cambriens (Incio). La plupart sont formées d'hématite brune, souvent un peu phosphoreuse.

Dans la provice d'*Oviedo*, sur les chaînons dérivés des Picos d'Europa, quelques autres gisements filoniens forment des amas irrégulièrement interstratifiés au milieu des calcaires ou dolomies carbonifères.

3° CHAPEAUX DE FILONS PYRITEUX

Tous les filons ou amas pyriteux sont recouverts, au-dessus du niveau hydrostatique, par une formation oxydée, dans laquelle le soufre peut avoir été assez complètement éliminé pour qu'il en résulte un minerai exploitable. Ces masses d'oxyde de fer, qui cessent d'ordinaire à 30 ou 50 m. de profondeur, ne prennent guère d'intérêt que lorsque le gisement sous-jacent est très développé: ce qui se produit pour certains amas encaissés dans les schistes, mais ce qui est surtout exact quand le terrain encaissant est calcaire. Dans ce dernier cas, il est difficile de distinguer le type d'altération du type de substitution et c'est comme gîtes de substitution que les minerais en question seront décrits plus tard[1] à l'exception des gisements nord-africains que nous avons cru devoir laisser tous ensemble dans le groupe étudié en ce moment.

Les principaux exemples de filons pyriteux transformés en hématite se présentent dans les chaînes de plissement récentes, où le développement de leur altération a été facilité par un relief accentué de la chaîne provoquant un niveau hydrostatique profond: par exemple, le long des Pyrénées, en Algérie, etc.

On peut cependant aussi rattacher à ce groupe des formations très étendues et peut-être appelées à un grand avenir, qui se présentent dans les terrains métamorphiques de certaines grandes plates-formes primitives, au Brésil, en Afrique Australe, etc. Les itabirites du Brésil, comme les oxydes de fer de la série d'Hospital Hill au Transvaal, ont bien des chances pour provenir, au moins en partie, de pyrites.

Province d'Huelva. — On connaît, dans cette province, divers gisements de fer filoniens dans des roches diabasiques ou à leur contact (Cala, Teuler). Ces gisements de magnétite et oligiste passent parfois en profondeur à de la pyrite ferro-cuprifère et apparaissent ainsi en connexion avec les grands amas pyriteux de la même région.

Au voisinage immédiat de Rio Tinto, des dépôts importants d'oxyde de fer, que l'on a songé à exploiter, ont été évidemment empruntés aux affleurements pyriteux et à leurs chapeaux de fer avec un faible déplacement d'origine lacustre ou continentale.

[1] Page 364.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

GISEMENTS D'ALGÉRIE ET DE TUNISIE [1]

L'Afrique du Nord présente un très grand nombre de gisements ferrugineux, parfois fort important, que j'ai décrits ailleurs comme dérivant pour la plupart d'altérations superficielles, souvent précédées par des substitutions à des calcaires. Ces gisements ont d'ordinaire pour origine des filons pyriteux, souvent en même temps cuprifères et je les ai rattachés à l'ensemble des filons sulfurés complexes si fréquents en Algérie. Nous allons en décrire rapidement les principaux, empiétant, pour ne pas rompre l'unité de cette province métallogénique, sur certains cas de substitution qui devraient rigoureusement être rattachés à un groupe suivant.

Dans cette région Nord-Africaine, un seul type de gisements se présente comme une exception apparente, avec des caractères scandinaves, c'est celui de Mokta el Hadid, où les oxydes de fer cristallisés se sont substitués à des calcaires encaissés dans une formation à type gneissique. Récemment, P. Termier a émis l'idée que les prétendus gneiss de cette région seraient de l'éocène métamorphique [2]. Si ce fait se trouvait démontré, le gisement de Mokta rentrerait dans l'ensemble métallogénique, au milieu duquel il apparaissait comme une manifestation accidentelle. De toutes façons, nous y voyons une substitution à des calcaires ultérieurement recristallisés par métamorphisme.

La Tafna[3]. — En partant de l'Ouest, on trouve d'abord le premier gisement d'Algérie pour l'extraction actuelle, le gîte de la rivière *Tafna* ou officiellement, de *R'ar-el-Baroud* (grotte de la poudre), également connu sous le nom de *Beni-Saf*, son port d'embarquement.

Ce gîte est situé à 21 km. Ouest 8° Sud d'Aïn-Temouchent; il comprend quatre affleurements principaux : *R'ar-el-Baroud, Bou-Hamedi-Sidi-Brahim, Dar-Rih* et *Camerata*, qui appartiennent tous à la Compagnie de Mokta-el-Hadid. R'ar-el-Baroud est la grande mine que je vais décrire longuement. A Dar-Rih, on fait une exploitation souterraine, qui a atteint un moment 50 000 t. d'hématite manganésifère, pour retomber à 20 000.

On voit, dans cette région, reparaître des zones de terrains primaires, de trias gypseux et de lias, en même temps qu'une série de volcans anciens sont entourés de coulées de leucotéphrites, leucitites et basaltes. Il est impossible de dire s'il existe une relation entre ces roches éruptives et les minerais de fer; mais il y a, tout au moins, rapprochement géographique. D'autre part, la situation ordinaire de ces gisements, au contact des schistes anciens imperméables et des calcaires attaquables du lias, paraît indiquer,

[1] Voir, sur les minerais de fer algériens, outre mes *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 175 à 192 et bibl. : Berthier. *Note sur diff. min. de fer de l'Algérie* (Ann. des M., 4e série, t. 2, p. 488). — Pernollet. *Notice sur les usines à fer de Malaga, suivie de considérations relatives au traitement des minerais de fer de l'Algérie* (Ann. d. M., 4e série, t. 8, p. 595). — Pouyanne. *Sur la région ferrifère de Ouelhassa* (Algérie) (Ann. d. M., 7e sér., t. 9, p. 81).

[2] Soc. géol., 16 févr. 1903. — C. R., avril 1903. — Voir plus loin page.

[3] Coll. Ecole des Mines, 1934. — 1852. Ville. *Sur les minerais de fer de l'Ouest de la province d'Oran* (B. S. G. F., 2e, t. 4, p. 377). — 1876. Pouyanne. (Ann. d. M., t. 9).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

à la fois, un phénomène filonien profond, dont la nature réelle peut-être pyriteuse, reste indéterminée et une importante altération superficielle, qui, se concentrant, comme d'habitude, au contact de calcaires et de schistes, a fortement attaqué les premiers, en donnant naissance, par substitution, d'abord à des carbonates, puis à des oxydes plus ou moins hydratés.

Le gisement de *R'ar-el-Baroud*, qui paraît filonien et d'âge tertiaire,

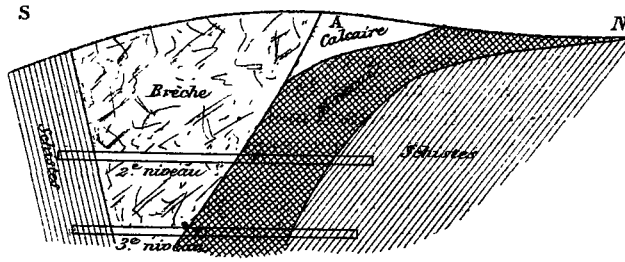


Fig. 206. — Coupe théorique dans le grand découvert de R'ar-el-Baroud.

forme, d'après une description de Parran, un amas très puissant, découvert sur 700 m. de longueur et parfois 100 m. de large, associé à des calcaires subcristallins probablement liasiques et remplissant, avec ces calcaires, une cavité à section grossièrement triangulaire, dirigée du S.-S.-W. ou N.-N.-E., dont les schémas des figures 206 et 207 donnent une image. Les calcaires, associés au minerai, se sont effondrés dans cette cavité en se brisant et formant une sorte de brèche ; ils ont subi une substitution ferrugineuse, qui les a partiellement et assez irrégulièrement transformés (peut-être par l'intervention de sidérose) en hématite rouge et friable, d'une teneur en fer de 58 p. 100 environ, à l'état sec. Tout l'ensemble est intercalé au milieu de schistes d'âge problématique, certainemenent antérieurs au jurassique, peut-être liasiques, peut-être beaucoup plus anciens, qui se montrent très métamorphisés et talqueux et qui, souvent, au contact du minerai, sont décomposés en kaolin blanc.

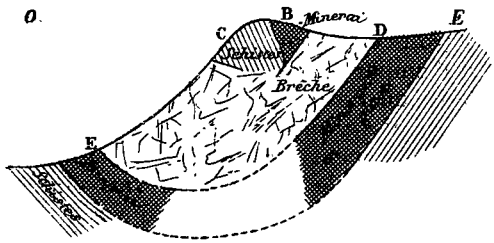


Fig. 207. — Coupe prise dans la partie Ouest du gîte de R'ar-el-Baroud, dirigée N.-E.

L'hypothèse la plus vraisemblable relative à la formation de ce gîte est qu'on est là sur le passage d'une ligne de fracture tectonique, le long de laquelle se sera produite une venue filonienne hydrothermale, sans doute analogue à celles qui, sur toute la côte algérienne, ont donné des filons sulfurés complexes. L'âge de cette venue semblerait ici du miocène inférieur (cartennien de Pomel) ; car, d'une part, suivant une remarque de Pouyanne, des filons ferrugineux, en relation avec le minerai de la Tafna, se prolongent dans le crétacé, qui entoure les schistes

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et, de l'autre, on trouve des fragments de minerai dans un poudingue rattaché au miocène.

Après sa formation, le gîte a certainement subi un métamorphisme profond, qui contribue puissamment à son aspect actuel. Il paraît avoir été entamé et remanié, dans sa partie Sud, par la mer miocène ; en sorte que, de ce côté Sud, le minerai est remplacé par des sables, empâtant des galets des divers terrains qui entourent l'hématite, calcaires, schistes et minerai même. Il est bien probable que les réactions récentes ont, en outre, continué et achevé l'œuvre commencée à l'époque miocène en déterminant la transformation complète de tout le gisement accessible en hématite.

Le minerai exploité se compose d'hématite rouge sombre ou bleu noirâtre, presque partout excessivement friable et tombant en poussière: ce qui gêne pour l'utiliser dans les usines françaises, où l'on exige du gros. Il donne jusqu'à 67 p. 100 de fonte et tient 2 à 3 p. 100 de manganèse, pas de silice, pas de soufre ni de phosphore, ou du moins des traces infimes de ce dernier corps (3/10 000), le reste étant seulement du carbonate de chaux.

L'exploitation de ce gisement qui se fait entièrement à ciel ouvert a commencé vers 1873. Il a été acquis, en 1879, par la Compagnie de Mokta-el-Hadid. La production s'est élevée progressivement à 418 000 t. de minerai marchand en 1900 et 400 000 t. en 1911[1] : ce qui représente près de trois fois autant de roches abattues. On est, en effet, obligé, pour les découverts, de commencer par enlever jusqu'à 50 m. d'épaisseur de stériles. En outre, le triage doit être fait très soigneusement; car si les minerais renferment à peine 3/10 000e de phosphore, les schistes encaissants en contiennent parfois près de 8. Ces minerais, une fois abattus, sont descendus jusqu'au port de Beni-Saf par un chemin de fer industriel de 4 km., terminé par un plan incliné automoteur : là ils sont entassés dans d'énormes cheminées, afin de pouvoir charger, dans le minimum de temps, les navires qui viennent les prendre, à raison de 3 000 t. par jour. L'exportation se fait à destination de l'Angleterre (226 000 t. en 1910), de l'Allemagne (154 000 t.), de l'Autriche 114 000 t.) et, accessoirement, des États-Unis (11 000 t.). La teneur garantie, variable suivant les cas, est toujours, au minimum, de 47 p. 100 de fer. La production, depuis l'origine, jusqu'en 1900, a été de 6 MT.

Timezrit. — Parmi les gisements de la Kabylie, on peut citer, à 3 km. de la station d'*El-Matine* (ligne de Béni-Mansour à Bougie), à *Timezrit* (30 km. S.-W. de Bougie), des lentilles d'hématite, intercalées dans une zone ferrifère au milieu des calcaires liasiques. Cette hématite est le produit d'une substitution du fer au calcaire, qui a pris d'abord la forme de sidérite ou de calcaire ferrifère, et s'est ensuite oxydée. Comme dans tous les gîtes du même genre, l'imprégnation ferrifère s'est irrégulièrement disséminée dans les calcaires, suivant des fissures, en englobant des blocs inattaqués. C'est ainsi que la zone ferrifère, d'environ 1 km. de long sur

[1] En 1911, Baroud a produit 180 000 t. : Bou-Hamedi-Sidi-Brahim. 120 000 t. : Camerata, 50 000 t. ; Dar-Rih. 20 000 t. : Melkimen. 20 000 t.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

50 m. de large, peut renfermer, en moyenne, une teneur de 5 p.100 de fer sous forme de carbonate spathique, tandis que, par endroits, se trouvent, les lentilles irrégulières d'hématite à 57 p. 100 qui constituent le gisement. On a reconnu de 150 à 200 000 t.

Collo. — Du côté de Collo, on connaît, dans le massif éruptif tertiaire, un certain nombre de gisements de fer, intéressants à noter à cause de cette relation directe avec les roches éruptives, qui peut éclairer sur l'origine de beaucoup d'autres filons, plutôt que pour leur valeur industrielle assez faible.

Djebel-Ouenza. — En continuant vers l'Est de l'Algérie, dans la région limitrophe de la frontière tunisienne, on rencontre une région fortement minéralisée, présentant quelques rapports avec celle de la Tafna. Là se trouvent un grand nombre de filons sulfurés complexes à remplissage comprenant zinc, plomb, fer, cuivre, antimoine, mercure, etc., dont nous donnerons ultérieurement une description détaillée. Ceux de ces gisements qui se trouvaient riches en pyrite de fer, présentent, à la surface, des chapeaux d'hématite, parfois très développés et susceptibles d'une exploitation fructueuse.

C'est ainsi que l'on s'est beaucoup occupé, depuis quelques années, d'un grand gisement d'origine probablement filonienne, nommé le *Djebel-Ouenza* (65 km. N. de Tebessa) : gîte qui, dans certaines parties, renferme un peu de cuivre et a été concédé pour cuivre, mais qui, sur des étendues beaucoup plus considérables, contient des minerais de fer, sous forme de mines douces exemptes de cuivre, dont la mise en valeur est à l'étude.

Le gisement du Djebel-Ouenza se distingue immédiatement des précédents par ses grandes dimensions et, dès lors, par son importance industrielle possible. Les calculs faits en vue d'une adjudication du gîte ne parlaient, en effet, de rien moins que de 100 MT de minerai de fer, réduits ensuite à 30 MT par d'autres évaluations [1].

Ce gîte, encaissé dans des calcaires compacts de l'urgo-aptien, où se trouvent tant d'autres filons de la même région, a été d'abord considéré comme un simple dépôt superficiel d'hématite, produit par l'altération d'un système de veines cuivreuses et concédé, en conséquence, pour fer, cuivre et métaux connexes. Des travers-bancs, faits à une profondeur de 50 m. pour explorer ces filons de cuivre, ont, tout au contraire, montré la continuité de la masse d'hématite à ce niveau et le rôle tout à fait subordonné des veines cuivreuses : la grande masse d'oxyde de fer étant même très pure en cuivre. Il en résulte que le gîte paraît être aujourd'hui un amas de substitution ou filon-couche altéré, composé d'hématite, dont la largeur est de 150 m., la longueur de 1 ou 2 km. et l'épaisseur minima suivant la verticale de 50 m. : ce qui conduit au tonnage précédent. Il reste, d'ailleurs, vraisemblable qu'à une profondeur plus ou moins grande, on passera en dessous ou latéralement à la pyrite de fer légèrement cuivreuse, soit directement, soit par l'intermédiaire de la sidérose.

Pratiquement, cette grande masse de fer est exploitable à ciel ouvert

[1] Voir les discussions du Parlement en 1909-1910.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comme une carrière et il en résulte une distinction légale avec le gîte souterrain, précédemment concédé en 1900. Bien que l'exploitation nécessite, soit la construction d'une ligne de 260 km. vers Bizerte, soit la réfection totale de la ligne Bône-Guelma et le raccordement avec elle, estimés environ 16 millions, on en attend des résultats fructueux et sa mise en valeur, toujours retardée par des considérations politiques, offre un grand intérêt pour l'Algérie.

Djebel-bou-Kadra. — Le gîte de Djebel-bou-Kadra (44 km. N. de Tebessa) présente, avec des proportions moindres, des conditions très analogues à celles du Djebel-Ouenza. Également encaissé dans l'urgo-aptien, il a, lui aussi, d'abord, attiré l'attention, par la présence du cuivre dans un chapeau de fer, associé avec de la barytine. Des recherches récentes ont montré, paraît-il, qu'il existait environ 6 MT d'hématite, dont la concession a été demandée par la Compagnie de Mokta-el-Hadid. En même temps, on a rencontré, au voisinage, un peu de calamine : ce qui paraît en faveur du caractère de chapeau filonien sulfuré complexe (avec remise en mouvement possible), attribué ici à ces gisements.

Tunisie (*Tabarca*). — Si nous passons la frontière et pénétrons en Tunisie, le territoire des tribus de *Nefzas* et des *Meknas*, près de *Tabarca*, renferme d'importants gisements de fer, exploitables en grande partie à ciel ouvert, riches et purs en soufre mais arsenicaux, qui avaient été visités par E. Fuchs et que A. Prost a décrits en 1899 [1].

Ces gisements, sur lesquels 7 concessions furent instituées en 1884, ont, malgré leur grand intérêt, été laissés de côté jusqu'ici, en raison de leur teneur en arsenic qui doit provenir de mispickels altérés.

Géologiquement, ces minerais de Tabarca paraissent, sous une forme spéciale, se rattacher à l'ensemble des gisements complexes, sulfurés en profondeur, oxydés à la superficie, dont il vient d'être question à diverses reprises.

Nous verrons plus tard, qu'à l'Est de la Calle, c'est-à-dire presque exactement à la frontière tunisienne et à peine à 20 km. Ouest de Tabarca, se trouve le grand filon complexe de *Kef-oum-Teboul*, encaissé dans les schistes liguriens. A l'Est, au contraire, de Tabarca et au voisinage des gisements de fer que nous étudions, on a retrouvé, près de la concession de Ras-er-Radjel, à *Khedeira*, *Ali-ben-Khalifa* et dans le *Djebel-Soussa*, des indices de plomb, cuivre et zinc inexploitables au milieu des grès numidiens. Enfin, au Sud des Nefzas, des îlots de crétacé supérieur contiennent, en divers points, de la calamine (c'est-à-dire une altération superficielle de blende), que l'on exploite au *Djebel-Sidi-Ahmed* et dans le *Kanguet-Kef-Tout*. Il semble bien, malgré la localisation fréquente des minerais dans des grès numidiens, due sans doute à des causes physiques, que tous ces gisements soient d'origine filonienne. On a même cherché un rapprochement entre eux et

[1] Coll. Ecole des Mines. 1935. — J'ai résumé les notes de E. Fuchs avec figures dans le *Traité des gîtes minéraux*, t. I, p. 818 à 821. — Cf. A. Prost. *Sur les minerais de fer des territoires des Meknas et des Nefzas* (Ann. des mines, 9e, t. 15, p. 533 à 555 et pl. XVI et XVII).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

un pointement de trachyte à mica noir (rhyolite vitreux de F. Aubert), qui recoupe l'éocène: ce qui est beaucoup plus douteux.

Si nous entrons dans le détail, nous voyons que les gisements de la région de Tabarca se présentent en lentilles très irrégulières et très discontinues, mais d'apparence générale interstratifiée, au-dessous des grès, dits numidiens, de l'éocène supérieur et au-dessus d'un système marneux, avec lamelles de gypse, rattaché au même étage, quoique sans fossiles. Le mur immédiat du minerai est, le plus souvent, formé d'une argile blanche ou bleuâtre, lamelleuse, qui, par son imperméabilité, à dû imprimer leur direction aux eaux minéralisantes ou métamorphisantes. En admettant qu'il existe réellement un gîte pyriteux, ou même un gîte de mispickel, en profondeur, comme le ferait supposer la présence de l'arsenic, les remises en mouvement notables, que le fer a certainement subies, ont pu être localisées par ce niveau d'argile.

Au-dessus, se développe par places (Bou-Lanague, Djebel-Bellif, Ganara, etc.) un conglomérat à gros éléments calcaires, reliés par un ciment ferrugineux. Le minerai de fer, par suite de sa résistance aux agents atmosphériques, beaucoup plus grande que celle des terrains encaissants, est généralement resté en saillie: ce qui lui donne, au sommet des collines, un aspect de blocs ruiniformes, qui avait beaucoup attiré l'attention des premiers explorateurs. Ces blocs, éboulés et éparpillés sur les pentes des coteaux, contribuent à rendre difficile la détermination exacte des affleurements.

Ainsi le gîte de *Ras-er-Radjel* paraît former une lentille entre l'argile blanche et les grès : lentille affleurant, sur 700 m. de long, avec des épaisseurs extrêmement variables depuis 5 ou 6 m. à l'Est jusqu'à 15 ou 20 m. dans l'Ouest ; son cube a été estimé à 1,2 MT exploitables à ciel ouvert, plus 600 000 t. à prendre souterrainement.

A *Tamera*, le minerai de fer forme une couche de 1,50 m. en moyenne, reposant sur l'argile blanche et couvrant un plateau ondulé d'environ 100 m. de long sur 300 à 400 m. de large : cube approximatif, 1,6 MT.

A l'*Oued-bou-Zenna*, on a une suite de lentilles, dont l'une présente 6 m. d'oligiste micacé.

Au *Djebel-Bellif*, le minerai (évalué à 600 000 t.) repose sur des argiles blanches un peu pyriteuses, tantôt en une seule couche de 4 m., ailleurs en trois couches de 2 m. à 2,50 m. chacune.

A *Bou-Lanague*, un gisement, presque vertical, repose, soit sur des argiles grises, soit sur des grès ou sur des poudingues.

D'après les analyses, ces minerais sont, en général, des hématites siliceuses, partiellement hydratées, dont la teneur en fer et manganèse, après un triage convenable, se tient facilement au-dessus de 55 p. 100. L'absence de soufre et de phosphore rend ces minerais comparables à ceux de Bilbao ou de Mokta. Par contre, la teneur en arsenic varie depuis des traces, jusqu'à 0,31 p. 100 dans un échantillon exceptionnel. Une moyenne de dix échantillons, prélevés par le service des Mines dans des quartiers divers, a donné 0,07 p. 100. On observe, également, parfois des traces d'antimoine et de cuivre.

Goa (Inde). — Il faut probablement rapporter à la même catégorie des

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

altérations les grands gisements de fer que la Cie de Mokta-el-Hadid met en exploitation à Goa sur la côte Ouest des Indes. Ces gisements, dont on évalue le cube à plus de 100 MT, se présentent sous la forme de crêtes parallèles. Ils sont situés sur le bord d'un estuaire et on espère pouvoir transporter les minerais en Europe moyennant un frêt de 20 francs.

4° VEINES D'HÉMATITE DANS LES DIABASES, DIORITES, LABRADORITES, ETC.

Zorge (Harz). — Les diabases et les porphyrites ont généralement la propriété de se décomposer en boules entourées d'une terre ocreuse, où se concentre l'oxyde de fer. Dans les diabases de l'Oberharz, on trouve, d'après Zimmermann, au lieu de cette terre, de véritable hématite rouge. Ces diabases sont traversées, aux environs de *Zorge*, par une série de fentes de toutes directions pénétrant rarement dans les schistes siliceux et les grauwackes voisines : fentes de 0,50 m. à 1 m., où, par un phénomène qui semble à V. Groddeck comparable, s'est concentrée de l'hématite rouge siliceuse compacte ou fibreuse avec du braunspath.

Vogtland, Haile, Bergzabern, etc. — Cotta a signalé, dans le *Vogtland*, des veines ferrugineuses analogues, au contact de diabases et de grauwackes et dans la diabase même, des veines semblables très irrégulières, souvent sans salbandes distinctes, et présentant de nombreux passages de la diabase ferrugineuse à l'hématite proprement dite.

Ce sont là des phénomènes superficiels qui, pour être réels, n'en ont pas moins dû, à notre avis, jouer un rôle extrêmement restreint dans les formations filoniennes.

De même, pour le cas mentionné par Credner à la mine d'or de *Haile* (Caroline du Sud)[2], où un filon de diorite, traversant un schiste quartzeux aurifère, est accompagné de deux filons d'hématite brune de 1,10 m. de puissance formant des salbandes : filons que Credner a interprétés comme des fentes résultant du retrait de la diorite au moment de sa solidification, et remplies par le lessivage des pyrites du schiste encaissant ; ou encore pour des filons bréchiformes à ciment de limonite dans les grès bigarrés de *Bergzabern* (Haardt[2]).

Vaquerias (Mexique)[3]. — Dans l'État d'Hidalgo, on a fait une petite exploitation sur les dépôts de limonite de *Vaquerias*, qui s'intercalent, sous forme de lentilles, avec une épaisseur de 0,1 m. à 0,8, entre un mur de labradorite et un toit de basalte. Juan de Villarello les a considérés comme des dépôts de la fin du pliocène apportés par des sources thermales chargées d'acide carbonique, dans les conditions où d'autres sources encore existantes déposent, au voisinage, de la limonite et de la silice empruntées aux roches encaissantes.

[1] 1834. Zimmermann. *Das Harz Gebirge*, p. 98. — 1870. *Erläuterung zur geol. Specialkarte v. Preussen*. Feuille de Zorge. — 1881. V. Groddeck, p. 205. — 1897. Beyschlag. *Die Eisenerze des Vogelberges* (Z. f. p. G., p. 337).

[2] 1870. Credner. Zeitsch. f. d. gesamm. Naturwissensch., t. 35, p. 20. — 1881. V. Groddeck, p. 257.

[3] 1907. Villarello. (Bol. Inst. geol. de Mexico, n° 16).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

N. GISEMENTS DE SUBSTITUTION A DES CALCAIRES

Parmi les gisements de fer ayant pris une grande importance industrielle, il faut réserver une place toute spéciale à ceux dont il va être question dans ce paragraphe. Nous groupons ici, quelle que soit leur origine première, tous les gisements de fer qui tirent leur développement d'une concentration ancienne ou récente opérée, sans métamorphisme igné, par imprégnation locale d'un terrain calcaire, par substitution, par métasomatose[1]. Le rôle des calcaires dans la formation des minerais de fer a déjà été mis en évidence à l'occasion de quelques-uns des gisements précédents, notamment quand il s'est agi des départs acides ou des gîtes de contact du type Banat. Quelques véritables gisements de substitution ont même été décrits avec le groupe filonien dont ils dérivent, notamment quand il s'est agi de l'Algérie. Nous aurons également l'occasion d'y revenir en étudiant la grande catégorie des gisements réputés sédimentaires, dont les plus anciens à facies archéen englobent certainement des substitutions authentiques, et nous verrons alors que, dans la constitution des sédiments les plus caractéristiques en apparence, comme les minettes lorraines, intervient, au moins pour partie, une substitution largement diffusée dans des calcaires organisés ou oolithiques. Enfin les formations ferrugineuses continentales, par lesquelles nous terminerons l'étude du fer, peuvent être, elles aussi, en relation directe avec la dissolution d'anciens calcaires et avec la concentration du fer qui en provient dans les poches de calcaires sous-jacents. Le groupe, dont il va s'agir ici, se présente à nous dans des conditions un peu différentes, en amas localisés de sidérite, plus ou moins complètement transformée en peroxyde, au milieu de calcaires massifs.

La grande majorité de ces gisements nous paraît due, non pas, comme on l'a dit souvent, à une action immédiate des venues ferrugineuses profondes sur des terrains calcaires traversés, encore moins à un dépôt sédimentaire contemporain des calcaires encaissants, mais à une transformation ultérieure produite par la circulation prolongée des eaux réalimentées sans cesse en oxygène et acide carbonique au contact de la surface. Ces gisements de substitution, dont l'origine première est le plus souvent filonienne, sont donc, sous leur forme actuelle, pour la plupart, un cas particulier de ces altérations continentales anciennes ou récentes que nous devons examiner dans un paragraphe ultérieur ; et, en effet, alors, nous aurons à étudier un assez grand nombre de gisements, comme ceux du Berry, du Jura bavarois, de Silésie, etc., qui tirent toute leur allure caractéristique du fait d'être encaissés dans les poches d'un calcaire. Mais il y a, entre les gisements qui seront alors envisagés et ceux que nous allons examiner ici, une distinction fondamentale. La majorité, sinon la totalité des gisements que nous étudions en ce moment comme substitutions ont une origine filonienne et sont produits, presque sur place, par une remise en mouvement restreinte des sels de fer empruntés à

[1] 1891. James P Rimball. *Genesis of iron ores by isomorphous and pseudomorphous replacement of limestone* (Am. J. of Sc., 3e, t. 42, p. 231).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ces filons ou amas filoniens; ils imprègnent le calcaire auxquels ils se substituent. Au contraire, les gisements que nous étudierons spécialement avec les concentrations continentales sont ceux où le fer, provenant le plus souvent d'une roche ou d'un terrain ne pouvant par lui-même mériter le nom de minerai,(terrain ou roche parfois disparus),a été accumulé avec déplacement dans l'intérieur de cavités qu'il remplit sans en imprégner les parois. Ce sont encore ceux qui se sont déposés à la surface d'un sol quelconque. En résumé, dans les gisements de substitution,le calcaire encaissant contribue activement,comme masse poreuse, à la constitution finale du gîte; dans le type réservé pour le paragraphe des concentrations continentales, ce calcaire ne forme, au contraire, qu'un vase à peu près inerte ; et, si ces concentrations se sont faites de préférence (mais non exclusivement) dans des calcaires, c'est parce que les calcaires, en se prêtant mieux que toute autre roche à la fissuration par diaclases, puis à la corrosion consécutive, ont fourni, à la fois, le vide à remplir et,dans une certaine mesure,les sels de fer pour le remplissage.

Nous ajoutons aussitôt, comme observation générale, que, selon nous, quand on trouve un minerai de fer imprégnant un calcaire, il y a toujours lieu de penser à une telle substitution adventive et postérieure beaucoup plutôt qu'à un dépôt simultané, dans les mêmes eaux, de sels calcaires et de sels ferreux. Contrairement à une apparence qui est très générale, mais que, précisément, nous chercherons à expliquer par les observations réunies ici, le dépôt des sels de fer en paquets irréguliers, tels que ceux examinés dans ce paragraphe, nous semble difficilement compatible avec celui de grandes masses calcaires : ce qui ne veut nullement dire qu'il ne se soit pas déposé des noyaux de pyrite, des glauconies ou d'autres silicates de fer dans certains vases argilo-calcaires [1], et, d'autre part, que les dépôts de fer n'aient pas pu renfermer des accumulations de coquilles calcaires ayant donné une certaine teneur en chaux des minerais. Mais nous ne nous représentons pas les masses d'hématite de Cumberland ou du Bilbao se constituant du premier coup dans des eaux riches en organismes calcaires.

D'ailleurs, les caractères de ces gîtes, qui sont toujours les mêmes, ne ressemblent nullement à ceux des formations, dites sédimentaires, étudiées plus loin. La sidérite,qui en est la forme profonde, ne s'y présente pas en couches stratifiées régulières, mais en amas, extrêmement irréguliers et déchiquetés, qui sont tout au plus grossièrement concordants avec la stratification, et allongés suivant la direction. Présentant des renflements et des serrées successives, ces amas se terminent en direction par un amincissement progressif et sont entourés d'une auréole, d'abord de calcaire ferrugineux ou rohwand, puis de calcaire cristallin et saccharoïde, comme celui qui a été soumis à des actions chimiques. L'interstratification n'est, en général, que très approximative, comparable, par exemple, à celle que nous retrouverons pour les gîtes calaminaires, et l'on voit parfois, sur une certaine étendue, l'obliquité du

[1] Le cas des minettes lorraines et autres minerais analogues pourrait être hypothétiquement rattaché aux substitutions. Les gisements de ce genre vont être décrits plus loin avec les sédiments marins.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gîte par rapport aux couches se dessiner nettement. En outre, il existe, surtout au mur, de très nombreuses ramifications. Minéralogiquement, les minerais sont formés : en profondeur, de sidérite, forme plus ancienne du dépôt ; aux affleurements, d'hématite, produit de la décomposition de la sidérite. Cette sidérite est à distinguer de celle qui incruste les filons du type Siegen et Allevard étudiés dans un groupe précédent, comme de celle qui forme des couches et nodules dans les sédiments carbonifères examinés plus loin.

Remarquons encore que les phénomènes d'altération, auxquels est due la concentration du fer dans les calcaires par métasomatose, ne sont pas spéciaux à notre époque, mais ont dû se produire de tous temps sur des continents émergés. Néanmoins, les réactions anciennes, qui ont pu être ultérieurement masquées par un métamorphisme dû à un retour en profondeur, sont d'ordinaire difficiles à distinguer et la plupart des cas que nous allons décrire se rattachent à l'existence du niveau hydrostatique actuel, ou du moins à celle d'un niveau hydrostatique relativement peu ancien.

Les minerais de substitution, que nous allons examiner ici, peuvent, à la condition d'admettre les hypothèses qui vont être développées plus loin sur leur formation, être groupés en trois ou quatre catégories principales, dont la première est de beaucoup la plus importante : I. amas provenant par métasomatose de filons pyriteux (comme au groupe 3 précédent); II. métasomatose de sédiments ferrugineux; III, action directe de venues ferrugineuses profondes sur des calcaires ; IV. substitution possible dans des terrains métamorphiques. Nous allons commencer par en donner les caractères généraux. Nous décrirons ensuite quelques cas particulièrement importants, tels que : 1° Cumberland et Lancashire; 2° Bilbao ; 3° zone pyrénéenne, Saint-Etienne de Baigorry et Rancié ; 4° Canigou; 5° Corbières et la Caunette ; 6° provinces de Murcie et d'Almeria ; 7° Gard et Ardèche; 8° Alpes Styriennes (Eisenerz, Vordernberg) ; 9° Elbingerode (Harz); 10° Silésie ; 11° Ile d'Elbe ; 12° La Tolfa, Comitat d'Hunyad. Grande-Vallée, etc.

I. — AMAS PROVENANT PAR MÉTASOMATOSE DE FILONS PYRITEUX

Le cas le plus ordinaire, le plus typique, et celui auquel s'applique le plus simplement notre théorie, est celui d'un gisement ayant une origine première filonienne et, suivant toutes vraisemblances, en majorité pyriteuse, qui, là où il s'est trouvé encaissé dans des calcaires, a pris, par un phénomène ultérieur, un développement inusité faisant contraste avec la pauvreté et la minceur des veines filoniennes souvent éparpillées un peu plus loin sur son prolongement en terrain schisteux. Ce cas est, à notre avis, celui des gisements de Bilbao, des Pyrénées françaises et de la province de Murcie, de l'Erzberg styrien, d'un très grand nombre de minerais algériens et tunisiens, etc.

On voit alors, dans une région présentant des terrains de nature physique diverse et une topographie accidentée, l'allure et l'importance des gisements dépendre directement de la nature du terrain encaissant et de la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

position topographique par rapport aux vallées voisines. On observera, par exemple, dans le premier ordre d'idées, comme cela se produit à Bilbao, que les minerais les plus purs se trouvent là où la venue filonienne a rencontré des calcaires ; ils sont un peu plus argileux et irréguliers dans les marnes et s'appauvrissent dans les grès ou schistes. Dans le second ordre d'idées, on trouvera, comme je l'ai fait remarquer depuis longtemps pour les Pyrénées : les minerais d'hématite dans les parties hautes de la chaîne ; plus bas, en moyenne, de la sidérite, et plus bas, souvent, dans les vallées inférieures, de la pyrite, avec traces de galène. En outre, il est souvent arrivé, pour des gisements de ce genre, que les remises en mouvement pléistocènes, en rapport avec la topographie actuelle, aient donné à tort l'idée d'un gisement entièrement récent.

Quand on examine un de ces gisements substitués aux calcaires assez haut au-dessus du niveau hydrostatique pour que la pyrite y ait été éliminée, on y observe, d'ordinaire, des amas de forme irrégulière passant au calcaire stérile par l'intermédiaire de calcaires ferrugineux, parfois encore utilisables. On peut souvent constater que la minéralisation s'est faite en partant de fissures, gagnant autour de celles-ci à la façon de taches d'huile qui marchent à la rencontre les unes des autres et laissant des noyaux inattaqués de calcaire stérile que l'on retrouve au milieu du minerai. Ailleurs ces noyaux stériles, s'ils ont existé, ont disparu, et l'amas entier s'intercale dans la formation calcaire comme un noyau homogène. La composition de ces minerais est d'ordinaire caractérisée par le développement de l'hématite rouge, avec plus ou moins d'hématite brune plus ou moins superficielle, et par le passage de cette hématite à la sidérite quand on s'enfonce assez dans les amas pour passer au-dessous du niveau hydrostatique. Ailleurs, la sidérite, ayant échappé à l'altération, existe côte à côte avec l'hématite, comme cela se produit également pour certaines pyrites. Puis il arrive quelquefois que cette sidérite passe à son tour à la pyrite de fer. Parfois aussi on a la transition brusque de l'hématite à la pyrite. Toutes ces variétés tiennent à des conditions de détail, sur lesquelles nous reviendrons.

En même temps, ces minerais sont d'ordinaire remarquablement purs en soufre et en phosphore, et, au contraire, très fréquemment chargés de manganèse ; ce qui en fait d'excellents minerais Bessemer. La pureté en phosphore vient de l'absence des organismes qui introduisent souvent cette impureté dans les sédiments. Le soufre, que l'on retrouve en s'enfonçant, a été éliminé par l'altération ; et celle-ci a, en même temps, déterminé la concentration du maganèse.

Si nous nous bornons d'abord à cette première catégorie de gisements particulièrement typique, son origine nous paraît à chercher sans hésitation dans des actions de métasomatoses, d'altérations superficielles, généralement très récentes, mais pouvant cependant remonter à une période géologique terminée. On s'est quelquefois demandé à ce propos — et c'est même la théorie qui prévalait généralement autrefois pour ces amas comme pour ceux de calamine — si cette substitution ne se serait pas produite au moment même de la venue ferrifère primitive, et si, par conséquent, ce phénomène de substitution ne serait pas ancien et relativement profond. Cette opinion nous paraît (au moins dans le cas étudié

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ici au début), tout à fait inexacte. On voit toujours les substitutions dont il s'agit en rapport avec le niveau hydrostatique actuel ; et, quand, par hasard, elles se prolongent au-dessous, on en reconnaît aisément la cause tectonique. C'est donc une circulation d'eaux superficielles, riches en oxygène et en acide carbonique, qui a produit cette remise en mouvement restreinte, comme elle a réalisé les concentrations continentales dont il sera question dans un chapitre ultérieur.

Cette altération est, ainsi que j'ai essayé de le montrer autrefois, un phénomène toujours en cours, dans lequel intervient essentiellement le facteur temps, en sorte qu'un gisement peut être resté pyriteux dans les calcaires au-dessus du niveau hydrostatique (cas d'Auzouar, en Algérie, de Boccheggiano, en Toscane) si l'érosion l'a très récemment mis à nu, tandis que, là où l'établissement du niveau hydrostatique date déjà de loin, la transformation en hématite est généralement complète[1]. De même il a pu rester carbonaté dans des conditions analogues.

L'altération, qui a été en rapport avec des actions plus ou moins anciennes, dont le processus exact nous échappe, descend, suivant les cas, à des profondeurs très variables et, tandis que, dans certains gîtes, le chapeau de fer dépasse 50 ou 60 m. d'épaisseur, ailleurs, dans des conditions assez analogues, on trouve, presque aux affleurements, de la chalcopyrite ou de la pyrite de fer intactes. Dans chaque cas particulier, il y a lieu de chercher les causes de ces divergences en étudiant de près la topographie et la tectonique de la région, qui entoure le gisement. Ainsi, tel chapeau de fer entièrement hématisé se trouve sur une éminence et les travers-bancs, qui y ont reconnu la présence continue des oxydes de fer à 50 mètres de profondeur, ont pu traverser la colline de part en part en allant du jour au jour, c'est-à-dire qu'on est très au-dessus du niveau hydrostatique. Ailleurs, au contraire, comme à El-Auzouar, on est au fond d'un ravin, encaissé en grande partie dans des terrains friables, qui s'affouillent aisément et la persistance de la pyrite est peut-être uniquement à chercher dans ce fait que la vitesse d'affouillement se sera trouvée dépasser la vitesse d'oxydation, en sorte que le gisement n'a pas encore eu le temps d'être altéré.

Dans quelques cas assez exceptionnels, on constate l'existence de pyrite subsistant dans des calcaires, ou, dans le même terrain, de pyrite passant directement à l'hématite sans intermédiaire de sidérose et d'ankérite. Ainsi à Soyons (Gard) et dans le gisement, signalé plus haut, d'El-Auzouar (Mansouria), en Algérie.

II. — MÉTASOMATOSE DE SÉDIMENTS FERRUGINEUX

Au lieu d'un gisement filonien pyriteux encaissé dans les calcaires, il a pu se trouver qu'un sédiment, ferrugineux dès l'origine ou devenu ferrugineux par concentration ultérieure, se soit trouvé en contact avec un calcaire et ait exercé sur lui une action métallisante. Nous croyons qu'on doit interpréter ainsi, par une pénétration postérieure, certains minerais de fer qui nous apparaissent comme formés d'une véritable

[1] Voir, à ce sujet, *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 173 et 174.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lumachelle de coquillages et qui tirent, de la présence de ces coquillages, une teneur en phosphore exceptionnelle. Nous aurons à en décrire plus tard, au chapitre des sédiments ferrugineux, deux exemples particulièrement nets : les minerais à coquilles du silurien de Clinton, aux États-Unis et les lumachelles ferrugineuses du pontien de Kertch, en Crimée. Il est probable que, dans les deux cas, la lumachelle est surtout intervenue par la porosité spéciale qu'elle devait à sa constitution physique.

Peut-être y a t-il lieu d'étendre, dans une certaine mesure, la même théorie à la production des oolithes ferrugineuses, telles que celles de Normandie, Meurthe-et-Moselle, etc. : celles-ci étant supposées dues à une concentration ferrugineuse ultérieure exercée sur d'anciens bancs oolithiques calcaires ou faiblement ferrugineux. Nous y reviendrons.

III. — ACTION DIRECTE DE VENUES FERRUGINEUSES PROFONDES SUR DES CALCAIRES

Si nous avons repoussé précédemment l'idée que les amas d'imprégnation normaux dans les calcaires, aussi bien pour la sidérite que pour la calamine, soient dus à une venue directe et profonde, il n'est pas moins vrai que certains phénomènes internes, dans lesquels se produisaient des départs ferrugineux, se sont parfois réalisés au contact de calcaires et ont donné lieu, par pénétration dans ces calcaires, à des gisements utilisables, qui ont été précédemment étudiés. Pour nous, ces gisements, dont on aperçoit généralement le lien avec une roche ignée, sont, pour la plupart, caractérisés par le développement des silicates, tels que le pyroxène, le grenat, etc., et par la cristallisation directe d'une partie du fer à l'état de magnétite ou d'oligiste ayant pu avoir pour origine, non plus des sulfures, mais du chlorure ou du carbonate. Magnétite et oligiste peuvent s'associer à des sulfures métalliques divers, et il en résulte une catégorie de gisements très différente de celle qui doit être étudiée dans ce chapitre : gisements tels que ceux du Banat, de Traverselle, etc., que nous avons classés comme gîtes de contact.

IV. — SUBSTITUTIONS POSSIBLES DANS DES TERRAINS MÉTAMORPHIQUES

A côté des gisements formant les catégories précédentes, pour lesquels le mode de formation est relativement clair, il existe toute une catégorie de gîtes, en présence desquels on est fort embarrassé et pour lesquels, par suite, ont été proposées les théories les plus diverses : ce sont ceux que l'on trouve encaissés dans les terrains métamorphiques cristallophylliens et dont la description sera généralement faite avec les sédiments. Peut-être une partie des difficultés que l'on a éprouvées pour interpréter ces gîtes vient-elle de ce qu'on a voulu trouver une explication commune pour des gisements très divers à l'origine, auxquels un commun métamorphisme a seulement prêté un air de famille. Que l'on suppose les terrains formant aujourd'hui la superficie de l'Europe centrale ramenés en profondeur par un mouvement tectonique, il en résultera la recristallisation simultanée de minerais ferrugineux très

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

divers, les uns sédimentaires, comme ceux de Meurthe-et-Moselle, les autres, comme ceux des Pyrénées ou de l'Erzberg styrien, n'ayant qu'une interstratification apparente due à une substitution préalable. Ne peut-on pas supposer qu'il s'est produit quelque chose d'analogue pour les minerais cristallins de Scandinavie ou du Lac Supérieur, et faut-il nécessairement donner la même explication pour les couches minces, bien interstratifiées et phosphoreuses comme celles de Gellivara ou de Grängesberg, et pour les amas lenticulaires très purs en phosphore et manganésifères encaissés dans des calcaires à Dannemora ? Cette pureté en phosphore, avec cette teneur en manganèse, sont des faits que nous sommes habitués à trouver dans tous les gîtes de substitution, tandis que nous voyons toujours le phosphore abonder dans les sédiments ferrugineux. Il y aurait alors, dans certains cas des gîtes de substitution ancienne, auxquels se serait superposé un métamorphisme de profondeur. La principale difficulté de cette interprétation, donnée ici sous toutes réserves et que nous aurons à examiner dans le détail, est pour mettre d'accord les minerais des deux catégories qui peuvent se trouver juxtaposés dans le même centre industriel. Aussi, dans le doute, décrirons-nous bientôt uniformément tous ces gisements avec les sédiments.

En terminant l'étude des substitutions nous examinerons cependant ce problème pour l'île d'Elbe.

1° CUMBERLAND ET LANCASHIRE (Angleterre)[1]

Historique et Statistique. — Les gisements de fer du Cumberland et du Lancashire ont une grande importance industrielle et un réel intérêt géologique. Ce sont pratiquement les seuls minerais des Iles Britanniques se prêtant, par leur forte teneur en fer de 50 à 60 p. 100 et par leur pureté en phosphore, à la fabrication de l'acier Bessemer. Aussi la mise en usage de ce procédé a-t-elle amené un développement rapide du pays. Barrow in Furness, centre de l'industrie de l'acier dans cette région, a vu sa population décupler de 1857 à 1874. Malgré l'irrégularité que présentent ces gisements comme tous les produits de substitution, leur grand nombre et le développement considérable que prennent certains amas permet de maintenir la production annuelle de 1 700 000 t. avec tendance à l'accroissement. Les principales mines sont celles de Hodbarrow qui produit 540 000 t. et où on estime les réserves à plus de 25 MT; puis Frizington, près Cleator Moor, et Egremont, en Cumberland; Park, Roanhead et Lindal Moor, en Lancashire.

Répartition géographique. — Sur la côte Ouest d'Angleterre, les dis-

[1] Coll. Ecole des Mines, (1920) et Lancashire (2277). — Voir la carte géologique d'Angleterre, au chapitre du sodium, Fig. 163 p. 129. — 1839. Dufrénoy et Élie de Beaumont. *Voy. métall en Angleterre*, t. 2. — 1849. Tooke. *Topographie minérale de l'Angleterre.* (dans le Mining Almanak, p. 241. — 1856. Smyth. *The iron ores of Great Britain* (Mem geol. Surv.). — 1862. Jordan. *Fabrication des fontes d'hématite dans le Nord Lancashire et le Cumberland* (Rev. univ., t. 12, p. 217). — 1874. *Les gisements d'hématite rouge* (Furness et Cumberland) (Cuyper, t 36, p. 321). — 1893. Kendall. *The Iron ores of Great Britain.* — 1896. Philipps Louis. *Ore deposits*, p. 176, 267. — 1910 H. Louis. *Iron Ore Resources of the World*, p. 626 et pl. 35.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tricts dont il s'agit ici occupent environ 60 km. de long depuis Whitehaven et Egremont, au Nord, jusqu'à Ulverston et Barrow in Furness, au Sud. Hodbarrow est situé un peu au N.-E. de Dalton in Furness et Eskdale, qui présente, comme nous le dirons, un type de filons dans le granite, est vers le milieu de la zone.

Géologie. — Le district comprend, comme terrains sédimentaires : 1° un système ordovicien de schistes et grès, avec quelques calcaires, dit de Skiddaw et Coniston (système recoupé par le granite) ; 2° du carbonifère, formé surtout de calcaires et schistes alternants, avec couche de base conglomératique ; 3° du permien (grès dominants, brèches et marnes gypseuses, avec niveau dolomitique) dont l'épaisseur dépasse 1 000 m. d'après un sondage à Seascale.

Une première discordance, amenée par les mouvements calédoniens, sépare le carbonifère de l'ordovicien, dont la surface accuse une érosion considérable. Une seconde discordance hercynienne sépare le carbonifère du permien. Des failles nombreuses recoupent le carbonifère parallèlement à la direction moyenne de la côte, qui est également celle de la limite entre l'ordovicien développé dans l intérieur du pays et le carbonifère de la zone littorale. Un grand massif de roches diabasiques et mélaphyriques et de granite dirigé N.-E. vient s'intercaler entre Witehaven et Barrow. Le système métallifère, qui ne comprend pas seulement des minerais de fer, mais aussi des filons de galène et des amas calaminaires, etc., est presque certainement en relation lui-même avec les mouvements hercyniens, comme ceux de la Belgique ou du massif rhénan de Linarès, etc. ; car on a poursuivi la continuation des gisements intercalés dans le carbonifère au-dessous du permien discordant. On peut donc admettre que les minerais ont été soumis, depuis le carbonifère supérieur, à des phénomènes d'altération, encore continués sous nos yeux, auxquels paraît due leur allure actuelle.

La théorie sédimentaire, qui a été quelquefois soutenue ici comme dans tous les cas semblables, est tout à fait inadmissible. Le minerai contient, en effet, la continuation directe de lits schisteux, intercalés dans le calcaire encaissant. Il y existe également des brachiopodes transformés en hématite. On a pu seulement émettre l'idée d'un apport descendant ayant eu pour origine les grès rouges permiens superposés ; mais cette idée s'accorde mal avec l'existence de veines dans les schistes siluriens et dans le granite. Il y a donc, suivant nous, ancien gisement de substitution hydrothermal à origine probablement profonde, avec altération et remise en mouvement superficielles.

Industriellement, les exploitations portent sur des gisements encaissés dans le calcaire carbonifère, d'ordinaire sur les affleurements de celui-ci, par exception sous le recouvrement permien (Berkermet). On les trouve en amas irréguliers, de préférence suivant les contacts du carbonifère avec les terrains imperméables sous-jacents, soit les schistes siluriens dans la majeure partie du pays, soit les grès du Millstone Grit au Nord ; mais, étant donné leur origine si manifestement intrusive, il y a lieu d'examiner, en outre, les gisements différents, d'importance moindre, qui, dans la même région, peuvent être rattachés à leur venue.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

1° On connaît à *Eskdale*, un gisement encaissé dans le granite sous forme de veines disséminées et présentant, au maximum, 6 m. de puissance. On, a exploité là à cinq niveaux différents. Le granite, qui forme les épontes, paraît décomposé et renferme, avec des rognons d'hématite, du quartz et de l'oxyde de manganèse.

2° L'ordovicien, constitué par des schistes bleuâtres ou pourprés avec grès intercalés, renferme de nombreux gîtes d'hématite, dont un seul, celui de *Kelton fell* et de *Knockmurton*, a pu être exploité. L'hématite s'y présente en amas discontinus, inclinés de 45 à 60°, amas dont la puissance totale maxima est de 102 m. Quelques-uns de ces gîtes ont été explorés sur une longueur de 600 m.

3° Quelques gisements sont encaissés dans les calcaires siluriens de la série de Coniston, qui affleure dans le comté de Furness, au Sud du Cumberland.

Les principaux gîtes de ce genre sont ceux de *Millon* et de *Water-Blean*. Le minerai forme de grands amas dans le calcaire, amas dirigés du N.-E. au S.-W. Il renferme très peu de calcite et de quartz, et est, en général, assez tendre et de couleur rouge éclatante à la surface ; en profondeur, il est compact et bleuâtre.

4° Enfin tous les grands gisements industriels sont, comme nous l'avons dit dès le début, en relation avec le calcaire dinantien. C'est dans ces conditions que se trouvent les trois grands districts de Whitehaven, Furness et Millom. L'étage dinantien est constitué par une série de niveaux calcaires, surmontés par un grès houiller, le *Millstone grit*. Son mur est formé généralement par une couche mince siliceuse, appelée *Whirlstone*. Le minerai y forme des amas situés surtout, soit au toit, soit au mur du calcaire.

Le premier cas (amas au toit du calcaire) se présente pour les gîtes de *Parkside*, *Crossgill et High House Mine*, qui sont dirigés N.-S. Le mur calcaire du gîte forme des selles souvent accentuées, entre lesquelles le minerai atteint parfois une puissance de 13 m.

Le second cas est celui du grand gîte de *Bigrigg*, où c'est le toit calcaire qui présente de nombreuses selles ; ce gîte est connu sur 300 m. de longueur, 200 m. de largeur et 40 m. de puissance moyenne.

D'une façon générale, le minerai, au contact du calcaire, est mal séparé, tandis qu'il se distingue nettement si ses épontes sont formées de grès ou de schistes. Souvent aussi, le minerai est poreux aux épontes et, quelquefois même, il passe à une argile ocreuse de 0,60 m. à 1 m. d'épaisseur. Les dépôts contiennent, presque toujours, des fragments détachés des parois.

Comme association, on trouve, avec l'hématite, du quartz, de la calcite, de la dolomie, de la pyrolusite, de la sidérose. Les géodes formées par l'hématite renferment aussi de la gœthite et de la hausmannite.

Voici quelques renseignements complémentaires sur les principaux de ces gisements en parcourant la région du Nord au Sud :

Parkside. — La mine de Parkside, exploitée depuis 1854, est située à 10 km. du port de Whitehaven, chef-lieu du Cumberland. La coupe ci-jointe (fig. 208) montre l'allure du gisement, qui semble dériver, par

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

épanchements latéraux, d'une faille, elle-même minéralisée. Les terrains traversés ont été :

1° au sommet, une couche de terrains de transport et d'argile à blocaux (Boulder-Clay, 15 à 20 m.);

2° une épaisseur de 140 m. environ de *Millstone grit*, ou grès houiller inférieur, lequel est très régulier dans toute la région ;

3° le calcaire carbonifère, non encore traversé dans son épaisseur normale ;

4° le *skiddaw slate*, ou schiste ardoisier silurien.

L'amas de minerai de fer le plus important (couche 1, ou grande

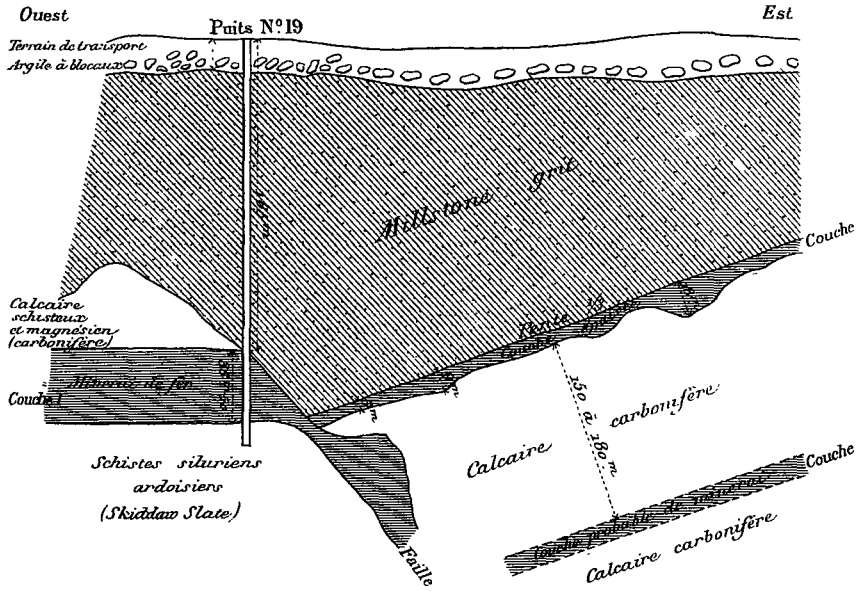


Fig. 208. — Coupe verticale théorique de la mine de Parkside près Frizington (Cumberland).

couche) est sensiblement horizontal et situé au mur du calcaire carbonifère. Cet amas a, en moyenne, de 30 à 37 m. de puissance ; son toit calcaire est irrégulier, fortement chargé de silice, d'argile et de talc, souvent schisteux et imprégné de fer. Au reste, la couche entière est elle-même divisée en bancs par des niveaux calcaires et schisteux. Des veines argileuses, renfermant des minéraux magnésiens, talqueux ou stéatiteux, la traversent fréquemment; elles paraissent constituer un réseau irrégulier, dont la composition se rapproche de celle des schistes anciens, assez magnésiens, du mur.

Le *minerai de fer* appartient à la classe des hématites compactes, dites *Blue Purple Ore*, à texture globulaire et concrétionnée. C'est une hématite rouge et bleue très pure, tenant en moyenne 56 p. 100 de fer, sans trace de soufre ni de phosphore.

Elle est souvent parsemée de géodes, où l'on constate du quartz, du fer

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

oligiste, de la calcite, de la dolomie (dont la magnésie se rapporte peut-être aux schistes du mur) et, rarement, de la gœthite.

La première couche découverte (couche 2), actuellement complètement enlevée, était située au toit du calcaire carbonifère, où elle formait des poches très irrégulières ayant jusqu'à 18 m. de puissance. Son toit, très uniforme, était constitué par le Millstone-grit parfaitement résistant et imperméable, contre lequel elle venait s'épanouir. Son inclinaison très forte (18°) facilitait l'écoulement des eaux.

Outre ces deux bancs de minerai, il en existe d'autres intercalés dans le calcaire carbonifère, mais de moindre importance.

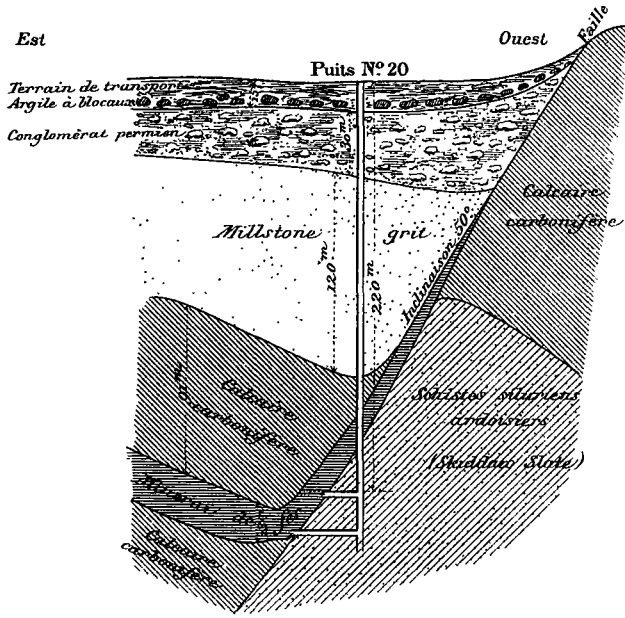


Fig. 209. — Coupe verticale E.-W. de la mine de New-Parkside, près Frizington (Cumberland).

New-Parkside. — Ce gisement, plus récemment exploité que le premier, se présente dans des conditions analogues, avec cette différence que le permien recouvre une partie du terrain sous la forme d'un conglomérat siliceux et argileux rouge (fig. 209).

La couche, de 13 m. de puissance, a été recoupée à 190 m. de profondeur. Elle s'amincit et se termine dans la faille.

Hod-Barrow. — Cet amas, le plus considérable de la région, a été reconnu sur 720 m. de longueur et 150 m. de largeur; sa puissance moyenne est de 15 m. et peut atteindre 30 m. Son minerai est formé d'hématite massive. Il est situé entièrement dans le calcaire carbonifère, surmonté dans cette région par le conglomérat permien et les terrains de transport.

La mine est placée au bord de la mer, la couche plongeant vers la mer

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

très régulièrement. L'exploitation n'en est pas poursuivie au delà d'une limite fixée, le domaine public s'étendant au delà.

De nombreuses failles, accompagnées de rejets de quelques mètres, sillonnent la couche. Ces failles, inclinées en général de 50°, sont remplies d'argiles schisteuses foncées, vertes ou noires, et le minerai, au voisinage, est traversé de petits lits argileux. La pyrite se montre fréquemment près de ces failles.

Furness (Lancashire). — Les gisements de Furness, qui prolongent au Sud la zone du Cumberland, présentent cette particularité de s'étendre jusqu'aux alluvions qui recouvrent le calcaire carbonifère : leur tête a été enlevée par dénudation. Le calcaire carbonifère a là une puissance de 300 m. et renferme des schistes interstratifiés. Les amas les plus importants sont ceux de *Park* et de *Roanhead*.

Park. — Direction Est-Ouest. Longueur, 360 m. ; largeur, 250 m. ; puissance moyenne, 20 m. Exploité jusqu'à 150 m.

Roanhead. — Direction Est-Ouest; 360 m. de long; reconnu jusqu'à 80 m. de profondeur.

On cite encore, comme gîtes en amas : Mounsell, Crossgate, Lindal Cole.

D'autre part, il existe quelques veines, comme Lindal Moor, ou Stank, ayant une allure quasi filonienne.

Minerais du Cumberland et du Lanscashire. — Les hématites de ce district peuvent se diviser en trois classes :

1° *Minerais durs ou compacts* (Blue purple ore).— Ces minerais sont vacuolaires et les cavités renfermant de la calcite et du quartz représentent un sixième du volume du minerai. La composition est la suivante :

Tableau 23. — Minerais du Cumberland (blue purple ore)

COMPOSITION DU BLUE PURPLE ORE	N° 1	N° 2	N° 3
Fe^2O^3	78,61	83,00	94,23
MnO	0,24	»	0,23
SiO^2	16,45	15,50	4,90
Al^2O^3	1,87	»	0,63
CaO	0,56	traces	0,05
MgO	0,24	»	traces
P^2O^5	0,03	»	traces
SO^4H^2	0,04	»	0,09
H^2O	2,02	1,50	0,56
Total	100,00	100,00	100,00
Teneur en fer	55,03 p. 100	58,10 p. 100	65,98 p. 100

2° *Minerais rouge sombre* (Dull reddish purple ore).

C'est un mélange du minerai dur avec un minerai tendre rouge brique

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qui se délite à l'air. Il renferme de nombreux fossiles transformés en hématite et appartenant au calcaire. Sa composition, après calcination à 100°, est :

TABLEAU 29. — MINERAIS DU CUMBERLAND (DULL REDDISH PURPLE ORE)

COMPOSITION DU DULL REDDISH PURPLE ORE	N° 1	N° 2
Fe^2O^3	74,24	86,50
MnO	0,11	0,21
SiO^2	0,09	»
Al^2O^3	0,24	»
CaO	6,00	2,77
MgO	0,41	1,46
CO^2	4,19	2,96
P^2O^5	»	traces
SO^4H^2	»	0,11
Résidu insoluble	9,07	0,55
H^2O	2,82	»
TOTAL	100,00	100,00
Teneur en fer	54,06 p. 100	60,55 p. 100

3° Les *Minerais tendres* forment presque tous les gîtes en amas sous forme de rognons d'une couleur brune ou rouge et renferment assez souvent des matières argileuses. Le minerai moyen tient de 50 à 55 p. 100 de fer métallique et ne dépasse pas 0,01 de phosphore avec des traces de soufre. Voici leur composition :

TABLEAU 30. — MINERAIS TENDRES DU CUMBERLAND

COMPOSITION des MINERAIS TENDRES	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Fe^2O^3	60,61	69,81	75,35	84,47
MnO	2,22	1,12	1,49	0,22
SiO^2	21,93	15,38	7,27	6,95
Al^2O^3	»	»	2,18	»
CaO	0,37	0,21	0,28	0,25
MgO	0,56	0,70	0,64	0,64
SO^4H^2	»	»	»	»
P^2O^5	0,03	0,02	0,03	0,03
H^2O, CO^2	15,50	13,54	12,54	8,45
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
Teneur en fer	42,43 p. 100	48,81 p. 100	52,75 p. 100	59,13 p. 100

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

2° BILBAO (Biscaye) [1]

Historique. — La grande prospérité de la région de Bilbao est assez récente et date seulement de la révolution produite par la découverte du Bessemer. Dès cette époque, on s'occupa des minerais riches de la côte Nord d'Espagne, et on songea à créer à Bilbao une grande industrie ; mais la guerre carliste vint arrêter tous les travaux jusqu'en 1876. A partir de ce moment, l'industrie s'est développée, comme le montrent les chiffres d'exportation suivants : en 1850, 4 200 t.; en 1855, 70 000 ; en 1870, 250 000 ; en 1872, 580 000 ; en 1874 (guerre carliste), 20 000 ; en 1878, 1 225 000 ; en 1881, 2 500 090 ; en 1882, 3 700 000 ; en 1900, 6 500 000 t. ; en 1907, 4 730 000 t. Actuellement, après avoir extrait au total 150 MT, on évalue le stock de minerais existant à prendre en Biscaye à 61 MT.

Ce district a été un des plus considérables du monde pour la production des minerais riches, qui sont exportés de là, surtout en Angleterre et en Ecosse, puis en Allemagne (par la Hollande), en France, en Belgique, etc. Les mines, très nombreuses, peuvent être réparties en un certain nombre de groupes tels que : Matamoros, Triano, El Regalo et Cotorio, dont on estime le cube subsistant à 33 MT; Ollargan, El Moro et Miravilla, au Sud de Bilbao (9 MT) ; Supuerta (6) ; Lalen (5,5) ; Galdames (4) ; Iturrigorri, Castrejana, Arraiz, etc... (2). (Voir la fig. 210.)

Minerais. — Le minerai de Bilbao comprend trois variétés d'hématite rouge ou brune dont voici la composition moyenne :

	Campanil	Vena	Rubio
Fer.	48 à 58	49 à 60	48 á 58
Manganèse	1 à 4	0,50 à 1,50	0,50 à 2
Chaux	0,50 à 5	0,1 à 9	0,5 à 2
Silice.	3 à 6	1 à 7	2,5 à 14
Phosphore	traces à 0,2	traces	traces à 0,90

1° Le minerai appelé *campanil* (cloche), à cause de la sonorité de ses morceaux, est rouge pourpre et renferme de beaux rhomboèdres de spath

[1] Coll. Ecole des Mines 1932 et 2810. — 1878. Bourson. *Les mines de Sommorostro* (Rev. univ.,t.4, p.2 et Bol.mapa geologico, t. 6). — 1879. Ramon Adan de Yarza. *Apuentes geologicos acerca del Criadero de hierro de Sommorostro* p. 287) (Bol. Mapa géol. t. 4. — 1879. Baills. *Mines de fer de Bilbao* (Ann. d. M., 7e, t. 15, p. 209). — 1880. Baills. *Nota sobre las minas de hierro de Bilbao* (Bol. Com. mapa geol. Esp., t. 6, p. 304). — 1880. Caron. (Z. fur d. B. u. H., p. 134). — 1882. *Iron and steel institute.* — 1883. Revaux. *Les mines de Bilbao* (Génie civil). — 1884. Cszyskowski. (Bul. Soc. Ind. Min.. p. 503). — 1884. Hock. *Mines de fer de l'Espagne* (Cuyper, t. 5, p. 510). — 1888. Gandolfi. *Mines de Sommorostro* (Cuyper, t. 4, p. 16). — 1888. Habets. *Mines de Bilbao* (Cuyper, t. 4, p. 1). — 1889. Soc. franco-belge des mines de Sommorostro. (Notice pour l'exposition de 1889). — 1892. Ramon Adan de Yarza. *Descrip. fis. y geol de la prov. de Viscaya* (Mém. Com. mapa geol. de Espana, avec cartes et profils). — 1894. Don Mario de Basterra. *Viscaya minera, su historia,* etc. (Bilbao, 365 p.; p. 1 à 22 sur les gisements). — 1896. W. Gill. *On the present position of the Iron ore industry of Biscay and Santander* (J. of the Iron and Steel Inst., t. 50, p. 36-103). — 1896. H. Wedding. *Der Eisenerz Bezirk von Bilbao* (Verh. d. Ver. f. Gewerbfl. Berlin, p. 293-321 ; C. R. Z. f. p. G., 1897, p. 254). — 1901. Adams. *Notes on the Iron ore dep. of Bilbao* (Can. min. Inst. mars, 8 p.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

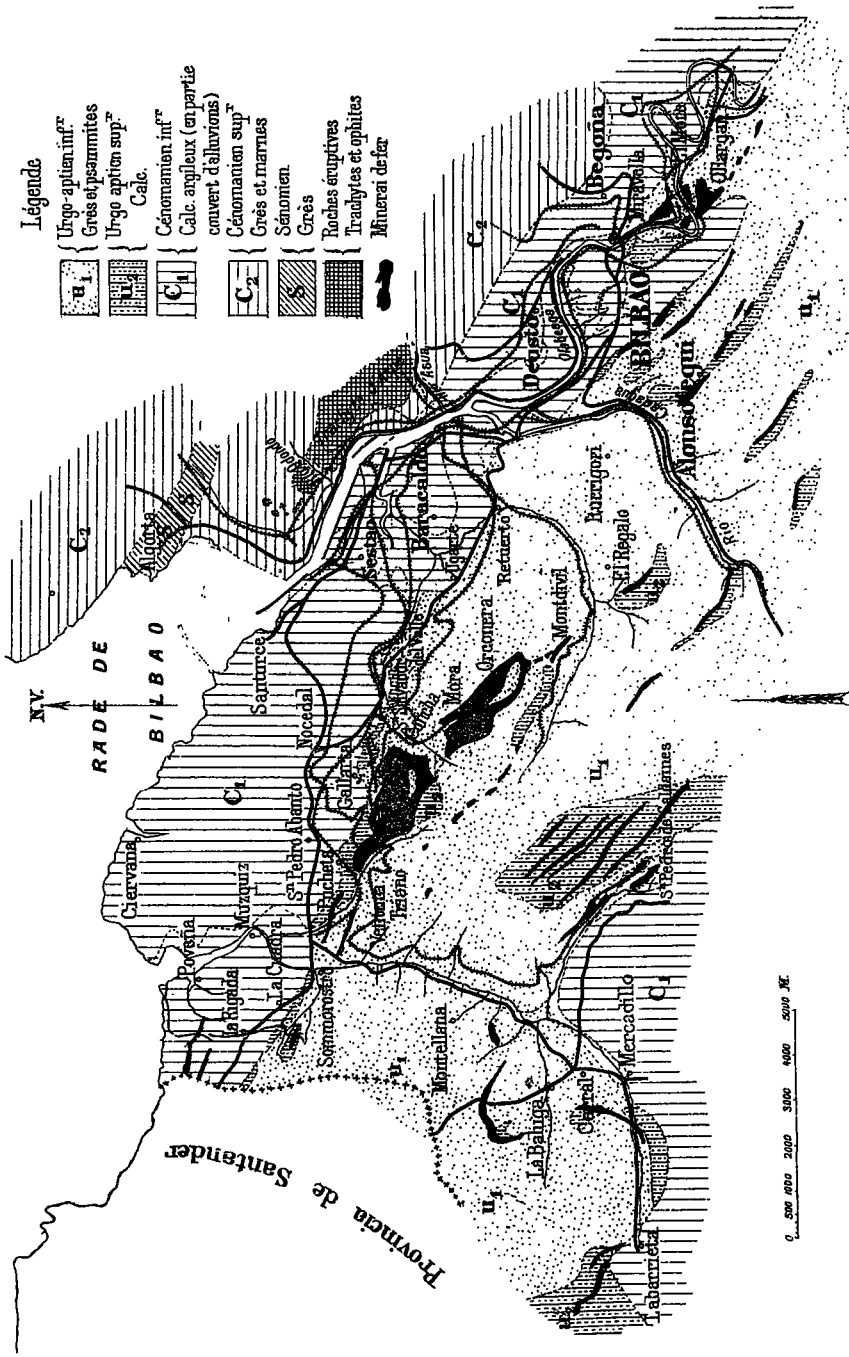


Fig. 210. — Carte du district de Bilbao, d'après Don Ramon Adan de Yarza.

calcaire. C'est la variété la plus recherchée, quoiqu'elle contienne souvent

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

moins de fer que les autres, parce que le minerai est moins siliceux et renferme une moindre quantité d'eau. Il est, en outre, plus manganésifère. Son prix de vente est toujours d'un franc supérieur à celui des autres variétés.

2° La *vena* est un minerai, principalement de surface, qui recouvre le rubio (voir plus loin). Elle est d'aspect terreux, mais particulièrement pure.

3° Le *rubio* est de l'hématite concrétionnée, plus dure, en général, que la vena. A l'état de pureté, il a une teneur en fer égale et même supérieure à celle de la vena, mais il est fréquemment souillé d'argile et sa structure caverneuse rend son exploitation difficile. Sur certains points, il se charge, en outre, surtout en profondeur, de matières siliceuses qui diminuent sa valeur, et dont la présence nécessite un tirage soigné.

Ces minerais sont disposés de la manière suivante.

Le *campanil* n'a été rencontré que dans les districts du centre où il se présentait en quantités relativement faibles, et est devenu rare. Il formait la grosse lentille du plateau de Triano de 4 km. de long, 1 500 m. de large et 15 m. de puissance. On remarquera sa teneur en manganèse qui correspond, comme dans tant d'autres gisements ferrugineux, à la présence d'une roche encaissante calcaire.

La *vena* a été recherchée autrefois parce qu'elle était très facilement réductible par les anciennes forges catalanes. On la trouve parfois en amas isolés reposant sur le calcaire et le campanil, mais elle est surtout en veines isolées dans le campanil ou le rubio.

Enfin le *rubio* a une allure plus filonienne.

En s'approfondissant, on a trouvé, en proportion croissante, de la *sidérite* (teneur 54 à 61 de fer après calcination) qui a produit les hématites par altération et remise en mouvement superficielle. Le passage s'accuse surtout du campanil à la sidérite. Ces minerais carbonatés, que l'on négligeait complètement en 1890, prennent une part croissante dans la production.

Géologie. — La zone ferrifère la plus importante est comprise sur 30 km. de long et 2 à 8 km. de large, dans un grand anticlinal aptien N.-W. S.-E., dont les flancs sont formés (fig. 210) par du cénomanien et du sénonien.

Les principaux gisements sont en amas dans le calcaire aptien, qu'ils arrivent à remplacer presque totalement, en particulier, le long de certaines failles; mais il existe, au voisinage, des filons-couches dans le système de grès et de psammites aptiens, inférieurs aux calcaires, montrant que cette relation avec les calcaires est, ici comme pour tous les gisements étudiés dans ce groupe, purement adventive. Les conditions de minéralisation varient d'un point à l'autre et la constitution des gîtes, comme leur richesse, dépendent de la nature du terrain encaissant.

1° Les meilleurs minerais sont sur les calcaires ou substitués aux calcaires (grand gîte de Triano). Là on trouve le plus souvent du campanil. « La caliza es la madre del mineral, » disent les mineurs. Tantôt le fer s'est substitué complètement au calcaire et a, pour mur les schistes, pour toit les calcaires marneux : tantôt il est en amas dans le calcaire subsistant.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

2° Dans les grès et psammites (Orconera, Concha, Mora, Galdamès), on a généralement du rubio, toujours des minerais ne contenant pas de chaux.

3° Quelques minerais sont en rapport avec les marnes (Ollargan, Iturrigori).

Le gisement classique de *Triano* et *Sommorostro,* où sont quelques-unes des principales mines, se trouve à environ 12 km. de Bilbao sur la rive gauche de la rivière. L'amas principal, qui s'y trouve à *Ventura, Triano,* etc., est assez irrégulier. Son grand axe est à peu près suivant la direction des calcaires, du N.-W. au S.-E. Sa longueur est de 4 km. ; sa largeur très variable. Au mont Triano, celle-ci atteint 1 km. ; à San-Lorenzo, elle n'est que de 150 m. Le minerai était surtout formé de campanil.

Le pendage du gîte, analogue à celui de la craie, est de 10 à 15 degrés vers le Nord. Son épaisseur varie beaucoup. Dans la concession de San-Miguel, elle atteint près de 30 m. ; à la Bomba, de même ; au Sud-Est, elle est plus faible.

Séparé de Sommorostro par le barranco (ravin) de Granada, se trouve

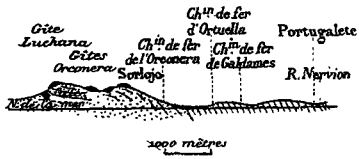


Fig. 211. — Coupe NE.-SW. par Orconera et Galdamès (Bilbao).

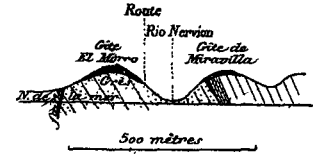


Fig. 212. — Coupe EW. par Miravilla (Bilbao).

le Criadero (gîte) de *Orconera,* qui a 2 km de long et près de 750 m. de largeur maxima (fig. 211).

Autour de ces gîtes principaux de minerai campanil, on rencontre, dans le calcaire, un grand nombre de veines et de poches de minerai de fer et des filons-couches dans les grès. L'ensemble peut contenir encore 40 à 50 TM de minerai.

Vers le Sud-Est de ce premier système minéralisé, on trouve, près de Bilbao, le groupe d'Iturrigori, et celui de Miravilla, El Moro, Ollargan (fig. 212).

En s'éloignant, au contraire, dans le sens de l'Ouest, on arrive aux gisements de Galdamès.

Mode de formation. — Ces gisements ont donné lieu à de très nombreuses interprétations, explicables par le rôle des remises en mouvement, qui n'a pas toujours été bien compris. Il ne paraît pas douteux que l'on ait affaire à un phénomène filonien, dont l'âge, certainement postérieur à l'aptien, et sans doute au cénomanien (El Moro), a des chances pour se rattacher aux mouvements éocènes de la chaîne pyrénéenne. Il y a eu alors concentration du fer, suivant la loi habituelle, dans les strates calcaires rencontrées, et particulièrement au contact de ces calcaires avec des schistes. Cette substitution a pris, soit immédiatement, soit par une première action de cémentation, la forme de carbonates. Après quoi,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le tout a subi une peroxydation, qui a donné de l'hématite en proportion d'autant plus forte que la circulation des eaux dans les fissures du calcaire, ou au contact des calcaires et des schistes, se faisait plus facilement. Enfin des déplacements ferrugineux, bien naturels en présence d'une telle masse ferrugineuse, ont donné certaines veines d'hématite brune, que l'on aurait tort de considérer comme les filons ascensionnels de la venue ferrugineuse. La vena, notamment, a bien des chances pour être le produit d'un remaniement semblable, et il en est sans doute de même pour beaucoup des « filons » de rubio.

Dans cette théorie, il semblerait y avoir lieu de chercher la prolongation profonde des gisements. Mais, en tout état de cause, on doit prévoir qu'elle ne serait pas utilisable industriellement ; car elle aurait bien des chances pour contenir au moins une forte partie du fer à l'état pyriteux. Peut-être même la racine filonienne du gisement n'existe-t-elle pas au-dessous de lui, comme sembleraient le montrer certaines recherches infructueuses par travers-bancs. Dans bien des cas semblables, on a l'impression d'épanchements latéraux ayant pris cette forme de filons-couches, dont nous avons, dès le début, signalé la généralité. On croit également apercevoir des pénétrations descendantes en relation avec une forme topographique que les mouvements ultérieurs ont fait disparaître. Peut-être même y a-t-il lieu de songer aux phénomènes de charriage, qui ont pu intervenir d'une façon encore mal précisée.

Industrie. — Nous avons dit, en commençant ce paragraphe, l'importance industrielle de Bilbao qui, depuis vingt-cinq ans, a contribué si fortement à alimenter en minerais à Bessemer les usines d'Angleterre, Allemagne, etc. Nous avons également indiqué dans quelle mesure il faut prévoir l'épuisement prochain de ce gîte, dont la production se ralentit déjà d'année en année.

Un rapport récent de Arisqueta estime à 61 MT le cube de minerai subsistant : 9 M T pour le groupe d'Ollargan, Morro et Miravilla, 12 MT pour Orconera, 6 MT pour les mines de la Société franco-belge, 6 à Triano, 6 à Supuerta, 5,5 à Lalen, 4 à Galdamès, etc.

3° ZONE PYRÉNÉENNE. — SAINT-ÉTIENNE DE BAIGORRY ET RANCIÉ[1]

Généralités. — La zone pyrénéenne comprend un certain nombre de gisements ferrugineux, que nous considérons, d'une façon générale,

[1] Coll. Ec. des Mines: Rancié (1690); Château-Verdun (1015) ; Rivernet (1019) ; Acuencerze (2626) ; Mt Saint-Pierre (2627). — 1823. De Charpentier. *Constit. géognost. des Pyrénées*, p. 350. — 1828. Marrot. *Description de Rancié* (Ann. d. M., t. 4, p. 301). — 1833. Dufrénoy. (B. S. G. F., t. 2, p. 73 ; Ann. sc. nat., 1833, t. 30, p. 59; Ann. d. M., 1843, t. 5, p. 307). — 1834. Durocher. (Ann. d. M., t. 5. p. 307 et t. 6, p. 15). — 1840. Paillette. *Et. sur les ter. de trans. des Pyrénées orientales* (album Roussillonnais; B. S. G. F., 2e, t. 20. — 1866. De Dietrich. *Gîtes de minerai des Pyrénées*. — 1866. Mussy. *Ressources minérales du canton de Vicdessos et mine de Rancié* (Ann. d. M., 6e, t. 9. p. 269). — 1870. Mussy. *Ressources minérales de l'Ariège* (Ann. d. M., 6e série. t. 27, p. 237). — 1872. Fuchs. *Mém. sur les gîtes métal. des districts de Batères et de Prades dans le Canigou*. — 1884. Braconnier. *Mémoire sur les couches de minerais de fer de l'arrondissement de Prades* (Pyrénées-Orientales), autographié. — 1884. Carcanagues. *Teneur en fer et manganèse des minerais du Rancié* (Ann. d. M., 8e, t. 5, p. 115). — 1885. Deperet.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comme des manifestations filoniennes d'âge tertiaire ayant pris leur caractère apparent et leur valeur industrielle par l'effet de substitutions à des calcaires encaissants. Le gisement de Bilbao, qui vient d'être l'objet d'une description détaillée, pourrait être déjà regardé comme le représentant le plus occidental de cette série. Puis vient, dans les Basses-Pyrénées, Saint-Etienne de Baigorry. Dans l'Ariège se trouvent les anciennes mines de Rancié, avec quelques autres gisements manganésifères et cuprifères qui, pour nous, se rattachent, par un lien intime, aux gîtes de fer. Enfin on arrive à l'importante zone du Canigou dans les Pyrénées orientales, qui sera l'objet d'un paragraphe ultérieur (4°). Les minerais de l'Aude, du Tarn et de l'Hérault (5°), bien que situés plus au Nord, se rattachent également à ce groupe.

Tous ces gisements peuvent, selon nous, s'interpréter de la même façon, malgré de grandes différences extérieures. Nous voyons là les indices de manifestations hydrothermales (sulfureuses ou chlorurées), liées à la mise en place des granites, lors des mouvements éocènes qui ont abouti à la surrection de la chaîne plissée. Ces circulations métallisantes ont pris de préférence, comme toutes les fois que l'on peut les observer dans une chaîne récente, par conséquent dans une zone de cristallisation voisine de la superficie, l'allure de filons-couches éparpillés suivant les plans de joint des stratifications, soit dans les schistes, soit plutôt au contact des schistes et des calcaires, soit enfin avec substitution, dans les calcaires eux-mêmes. De tels filons-couches sulfureux, à sulfures variables suivant les points (fer, cuivre, plomb, zinc, etc.), représentent donc la forme primitive la plus caractéristique de ces gisements, et c'est celle que l'on observe encore souvent lorsque le terrain encaissant était inattaquable à l'acide carbonique, dans les schistes, les granites, etc., ou même dans les calcaires lorsqu'on passe au-dessous du niveau hydrostatique : par exemple, même aux affleurements, dans le fond des vallées. Les gisements qui existent alors n'ont, du moins comme gîtes de fer, aucune valeur et sont, par conséquent, mal connus, passés sous silence dans les descriptions. Mais, lorsque la métallisation primitive s'est trouvée en rapport avec des calcaires et lorsque l'action superficielle des eaux a pu, dans la suite, s'exercer, il s'est, au contraire, produit par réaction secondaire, par substitution, par métasomatose, des amas ferrugineux importants, dont la première forme est le carbonate de fer associé à du calcaire plus ou moins ferrugineux, mais dont la forme définitive est devenue, toutes les fois que l'action des eaux de surface a eu le temps de se faire sentir, de l'hématite absolument épurée en soufre et, d'autre part,

Descr. géol. du bassin tertiaire du Roussillon (Paris, Masson). — Virlet d'Aoust. *Rapport sur les mines de fer oxydé manganésifère d'Escoumps, commune de Nyer* (Pyrénées-Orientales) (In-4°, 12, p. 1 pl.). — 1886. Caralp. *Rech. géol. sur la zone frontière des Pyr. Or.* (Toulouse). — 1890. Jacquot. *Sur la const. géol. des Pyrénées. Le syst. cambrien* (B. S. G. F., 3°, t. 18, p. 651 et 654). — 1891. De Margerie et Schrader. *Aperçu de la structure géol. des Pyrénées* (Ann. du C. A. F., 18e vol.). — 1893. Roussel. *Etude statigr. des Pyrénées* (Bul. carte géol., n° 35. t. 5) : Voir p. 270 sur le Canigou et profils 298, etc.). — 1899. Lacroix. *La magnétite de Quérigut* (C. R.). — 1903 à 1909. Carez. *La géologie des Pyrénées françaises* (Mém. de la carte géol. de France) 6 vol. in-4° avec bibl. — 1909. Nicou. *The iron ore resources of the world* (Congrès géol. de Stockholm. t. 1, p. 22 à 29).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

originellement pure en phosphore par suite de son mode même de dépôt : par conséquent, un minerai à Bessemer de première qualité, souvent en même temps manganésifère.

La conséquence pratique, que nous avons déjà annoncée d'une manière générale en commençant cette étude, mais que nous retrouvons affirmée ici avec une netteté particulière, est que, lorsqu'on remonte du fond des vallées vers les crêtes, on trouve d'abord en moyenne, et sauf exceptions locales, des minerais sulfureux et sans valeur, puis des minerais oxydés passant rapidement aux carbonates, enfin des minerais d'hématite plus durables. Mais ceux-ci mêmes, dès que l'on s'y enfonce suffisamment, comme cela se produit dans les exploitations un peu anciennes, tendent généralement à fournir une quantité croissante de carbonate. Aux amas riches encaissés dans les calcaires s'associent, dans les schistes, des filons-couches éparpillés, où la pyrite apparaît beaucoup plus vite, seulement recouverte à la surface par un chapeau oxydé. Dans tous ces gisements, des traces de galène sont souvent un indice que l'on approche de la zone restée sulfureuse, où le fer se trouvera en pyrite. Cette galène existe à Rancié comme à Fillols ou Sahorre et devient abondante dans certains gisements, comme celui de la Caunette (Aude), que nous citerons à ce propos.

Les gisements, que nous interprétons ainsi, ont été souvent l'objet d'explications différentes : les uns voulant y voir des couches ou amas sédimentaires contemporains des terrains encaissants; d'autres des produits filoniens ayant, dès le début, donné lieu à la substitution carbonatée qui, pour nous, est postérieure ; d'autres encore partant de leur apparence remaniée pour les interpréter comme des manifestations très récentes et d'origine presque superficielle. Nous croyons avoir suffisamment discuté ces théories dès le début pour pouvoir ici les laisser de côté.

Saint-Etienne de Baigorry (Basses-Pyrénées[1]). — Les grands gisements industriels des Pyrénées sont ceux du Canigou, à l'Est de la chaîne; mais, dans l'ordre géographique adopté ici, nous devons commencer par signaler quelques gîtes secondaires. A Saint-Etienne de Baigorry, on a repris, en 1908, des filons puissants, qui avaient déjà été exploités dans l'antiquité.

Rancié (Ariège) [2]. — L'Ariège comprend un certain nombre de concessions de fer à l'Ouest de Vicdessos : Rancié et Lercoul qui se touchent; puis Miglos, Castelmir et Château-Verdun ; enfin Riverenert entre Foix et Saint-Girons. Nous verrons, d'autre part, que l'on y a exploité à Las Cabesses, d'importants gisements de manganèse, également substitués aux calcaires et, pour nous, intimement liés aux gîtes de fer. De ces gisements le principal est celui de Rancié dans le canton de Vicdessos, où une exploitation, qui date du moyen âge, se réduit progressivement par suite de l'épuisement des minerais. La production des minerais de fer

[1] Coll. Ec. d. M. Baigorry (2613, 2619, 2625, 2644) : Usteleguy (2634) ; Montory, Tardeto (2614); Libarrens (2642); Biriatou (2645); Val d'Ossau (2646 et 2648); Baburet (2647) : environs de Mauléon (2621),

[2] Coll. Ecole des Mines, 1690 — Feuille de Foix. — Voir une carte géol. dans les *Gîtes métallif.*, t. 1 p, 686.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans l'Ariège a été, en 1908, de 24 000 t. d'hématite et 12 300 de fer oxydulé. En 1909, elle est tombée à 10 500 t. d'hématite et 14 500 de fer oxydulé.

La coupe de la région montre ici, du Nord au Sud, du granite, du lias, du néocomien, du dévonien, du silurien, et des terrains cristallophylliens. C'est dans les calcaires dévoniens que sont encaissées des lentilles ferrugineuses, reliées les unes aux autres par des veinules de minerai, ou simplement par des filonnets d'argile ferrugineuse. La figure 213 montre, en projection verticale, l'allure de ces sortes de colonnes inclinées, représentées par la superposition de coupes parallèles et équidistantes. Au-dessous de cette coupe, il faudrait, pour avoir la disposition actuelle des travaux, figurer, 50 m. plus bas, le travers-bancs de la République ; mais l'allure reste la même. On voit donc que les amas de minerai, obliques sur le plan de projection, ont une inclinaison générale, qui correspond à peu près au pendage des couches, mais qui s'en écarte pourtant peu à peu. Le cube de minerais, à peu près épuisé, peut avoir été au total de 5 MT.

Les divers massifs métallifères tendent, en descendant la montagne, à pénétrer dans la roche du mur. De l'amas principal divergent obliquement des amas secondaires assez importants. Cet amas forme, en somme, suivant l'allongement, un triangle de 500 m. de long, 900 m. de haut et d'une épaisseur moyenne de 5,70 m., pouvant atteindre localement 25 m.

Dans ce triangle même, le minerai est loin d'être régulièrement réparti; les plans de la mine font apparaître quelque chose comme trois colonnes, ou trois séries de chapelets, partant à peu près du sommet et divergeant de plus en plus dans les régions profondes : la première, voisine de la surface, ayant été entièrement dépilée autrefois; la seconde, passant par la Roque, Saint-Louis, Orléans, Sainte-Barbe et Becquey, enlevée dans ses parties hautes, moins connue dans ses parties basses ; la troisième qui a été surtout exploitée dans les derniers temps.

Les amas, ou lentilles, offrent toute l'irrégularité de formes qui peut résulter de circulations aquifères ayant agi sur des minerais déjà disséminés dans un ensemble de terrains hétérogènes, en profitant de leurs diaclases et de leurs joints. Lorsqu'un amas se termine par une veine unique, les recherches ont des chances pour trouver, à sa suite, un autre amas de même nature ; si, au contraire, la veine se ramifie, ces rameaux ne tardent pas à disparaître et l'on rentre dans le calcaire intact, qu'il faut traverser un peu à l'aventure pour arriver à un autre amas. Assez souvent, la terminaison d'un amas est entourée par des calcaires ayant subi un commencement d'attaque chimique, calcaires spathiques et cristallins avec fer carbonaté, calcaires rouges imprégnés d'oxyde de fer, qui passent par transitions insensibles à la roche stérile. C'est ce qu'on appelle le calcaire rouge métallifère. Parfois encore, la masse minérale se termine brusquement à un large banc de calcaire gris.

Le calcaire encaissant est un calcaire gris bleuâtre; stratifié en bancs minces, souvent feuilletés. Au toit, il existe une salbande argileuse régulière ; au mur, l'action des eaux récentes, suivant la ligne de séparation, a creusé souvent des grottes et accumulé un mélange d'argile avec cailloux arrondis. En outre, ce mur est fréquemment, jusqu'à 15 et 20 m. de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

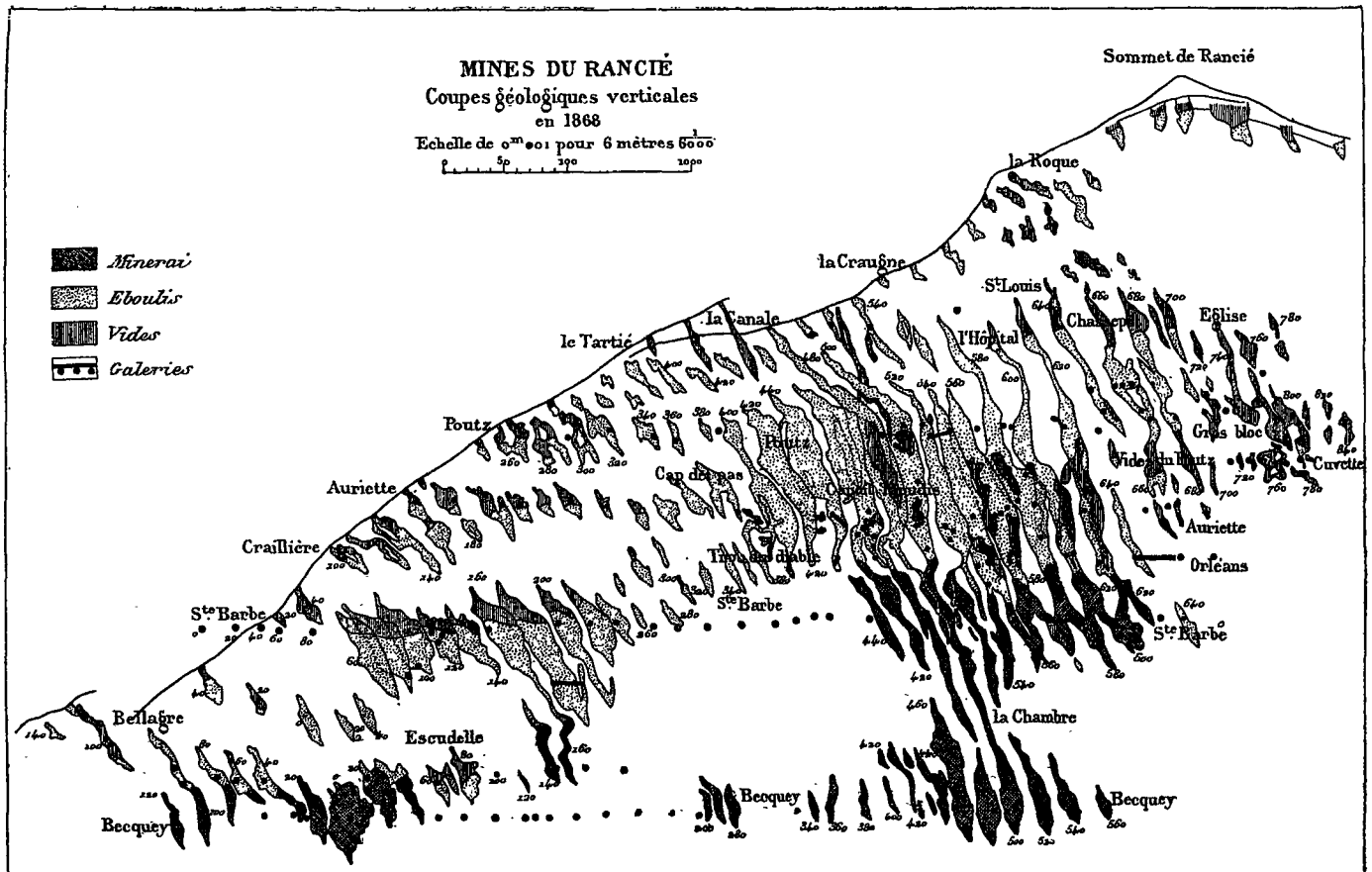


Fig. 213.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

distance, pénétré dans toute sa masse d'oxyde de fer avec grandes veines de minerai.

Les minerais ont été antérieurement de la sidérite dont il reste des quantités plus ou moins fortes mélangées à de la limonite. Il en résulte les divers types suivants :

1° Un mélange d'hématite brune et rouge où la brune domine, compact, cristallin, appelé *minerai ferru*, qui compose la majeure partie du gisement ; l'oligiste grenu y est fréquent au contact des concrétions d'hématite. La mine ferrue est mélangée intimement d'une gangue siliceuse. A côté de limonite compacte, on trouve de la limonite concrétionnée fibreuse à nombreuses cavités. Parfois l'accentuation ordinaire de la teneur en manganèse, que produisent les altérations, a donné des enduits de manganite fibreuse, ou même des stalactites de psilomélane.

2° Un *minerai* carbonaté, dit *noir*, décomposé et transformé en fer oxydé rouge très peu hydraté, à poussière rouge et surface noirâtre, formant quelques amas ;

3° Un mélange de minerai ferru et de quartz, qui n'est autre que du minerai où la gangue habituelle quartzeuse devient abondante et rend le minerai inexploitable ; ce mélange pauvre est assez commun au toit du gîte et dans les régions inférieures où le pendage approche de la verticale.

4° Un mélange assez rare de minerai noir, quartz et fer carbonaté décomposé pauvre ;

5° Un minerai mélangé de gangue schisteuse ;

6° Un mélange de minerai carbonaté blond, non décomposé, parsemé de pyrites et grains de quartz, qu'on n'exploite pas, etc.

Les mineurs réduisent ces variétés à trois types : les *mines fortes ou fermes*, c'est-à-dire les hématites ; les *mines douces ou noires*, c'est-à-dire les fers spathiques plus ou moins décomposés, et les anis ou *mines pauvres*.

Mais les mines fermes elles-mêmes comprennent, pour eux, des laouzudes (hématites noires schisteuses), des luzentiés (fers micacés), des mines brûlées (hématites cellulaires). Les mines douces, d'où tout l'acide carbonique a disparu, sont poreuses, non cristallines, formées de fer oxydé à poussière rouge, très estimées et assez riches en manganèse.

En profondeur, suivant la règle générale, la proportion de fer carbonaté augmente En même temps, on voit apparaître, comme éléments accessoires, un peu de galène, de blende et de greenockite.

4° CANIGOU (Pyrénées-Orientales [1])

Position et caractère généraux. — Le groupe des Pyrénées orientales (massif du Canigou) est en voie d'accroissement, tandis que l'Ariège décroît comme nous venons de le dire. Il a produit : en 1908, 312 000 t. d'hématite brun et 82 000 t. de carbonate grillé ; en 1909, 215 500 t. d'héma-

[1] Coll. Ec. d. M. 1160, 1570 et 1622. — Feuille de Prades. — Voir plus haut, la bibl. de Rancié, p. 381 et L. De Launay. *Sources thermo-minérales*, p. 313.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tite et 62 400 t. de carbonate. En 1890, la production totale était seulement de 60.000 t. et le fer carbonaté formait à peine un huitième de l'extraction, contre près du quart aujourd'hui. Malgré quelques observations contraires dont nous dirons un mot, ce simple fait industriel met en évidence la prédominance en profondeur de la sidérite originelle qui a produit la limonite par altération. Comme tous les minerais altérés de substitution, ceux-ci sont très purs en soufre aussi bien qu'en phosphore et, d'autre part, enrichis en manganèse. Leur qualité est donc excellente. Les sidérites manganésifères sont notamment très abondantes dans le district de Batère. Quelques traces de sulfures subsistent en outre ; mais, dans les parties exploitées, elles se bornent à la galène, le plus persistant de tous.

Les concessions du Canigou forment deux districts : l'un au Nord du massif cristallophyllien, près de Prades et de Villefranche de Conflent (vallée de la Têt) ; l'autre au Sud, ou groupe de Batère, dans la vallée du Tech (fig. 214).

Les plus gros producteurs ont été, en 1908 : Las Indis, avec 86 900 t. de produits marchands ; Fillols (46 300) ; Sahorre (41 100) ; La Pinouse (37 500) ; Escaro-Nord (37 300) ; Vernet (27 400) ; Escaro-Sud (27 400).

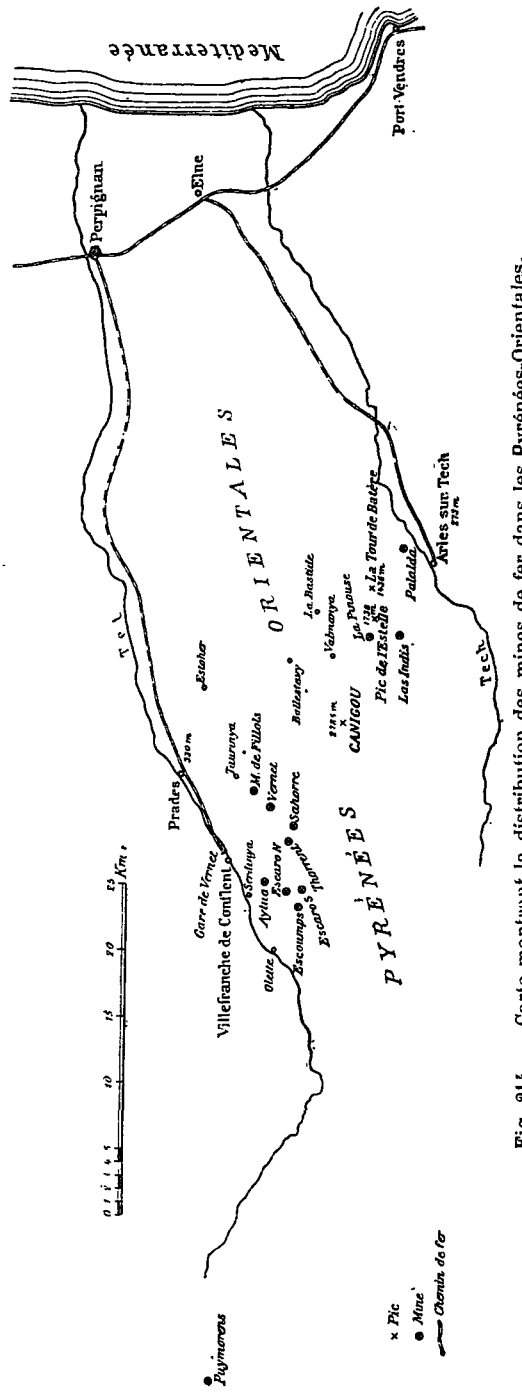


Fig. 214. — Carte montrant la distribution des mines de fer dans les Pyrénées-Orientales.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le Canigou (2 735 m.) forme la pointe la plus avancée d'un massif de granite entouré de terrains cristallophylliens et dirigé de ce côté N.E.-S.W. Sur son flanc N.E., il est recouvert, jusqu'à 1 200 ou 1 300 m. d'altitude, par des terrains métamorphiques non fossilifères, schisteux ou calcaires, rattachés au silurien, où se trouvent les principaux gisements ferrugineux du versant Nord ou groupe de Prades : Olette, Escaro, Le Vernet, Fillols, Ballestavy. Le dévonien fossilifère arrive seulement plus au Nord. De ce côté Nord, on peut rappeler la présence d'assez nombreuses sources thermales au contact des terrains cristallophylliens et du primaire, accusant la réouverture récente de fractures qui, plus anciennement, avaient dû contribuer aux manifestations métallifères. Puymorens (inexploité) est situé à l'Ouest du Canigou. Au Sud-Est, une zone permo-carbonifère renferme d'autres gisements, tels que la Tour de Batère, la Bastide et las Indis.

Le caractère filonien de tous ces gisements est, entre autres preuves, mis en évidence par l'intercalation de gisements analogues suivant les points de la chaîne pyrénéenne, dans des terrains d'âges divers. On peut encore noter, à ce propos : 1° Leurs ramifications profondes, soit dans le calcaire ferrugineux, soit dans les calcaires cristallins du toit; 2° La variation de leur puissance, suivant la nature de la roche encaissante; 3° La disposition, analogue à celle des filons, des amas métallifères importants, qui sont situés, soit à l'intersection des filons avec des schistes fissurés, soit surtout et presque exclusivement à la rencontre des filons métallifères et des grandes masses calcaires; 4° La forme columnaire de ces amas, dont la plus grande dimension transversale se confond avec la direction des calcaires et dont la section, prise dans son ensemble, se coince toujours en profondeur.

Nous y retrouvons, en résumé, les mêmes phénomènes de substitution qu'à Rancié, malgré une apparence un peu plus interstratifiée, qui a pu faire croire à des intercalations sédimentaires. Beaucoup de gisements font partie intégrante de bancs calcaires, comme à la Pinouse, à las Indis et dans les recherches récentes des vallées d'Estoher, de Ballestavy, Velmanya, Labastide. Ailleurs, on a, dans les schistes à pendage souvent presque vertical, des lentilles interstratifiées, soit de sidérite, soit d'hématite. Ces amas, qui se terminent toujours en pointe à leur extrémité, ont des épaisseurs très irrégulières, avec une longueur maxima de 200 m. Leur épaisseur atteint 35 m. dans le gîte intermédiaire de Fillols, 20 m. à Sahorre, 45 m. à las Indis. Quelquefois des veines minces ont épousé les inflexions du terrain encaissant. Mais il est rare de trouver plusieurs amas successifs sur le même horizon : ce qui est évidemment contraire à la théorie sédimentaire.

Nature des minerais. — Les amas sont surtout formés par des variétés diverses de limonite, renfermant parfois des nodules subsistants de la sidérite manganésifère, qui tend généralement à dominer en profondeur, mais qui, en outre, dans certains gisements, a été conservée aux affleurements mêmes. Bien que les travaux aient été poussés parfois à 250 m. de profondeur, le relief escarpé du pays fait qu'on n'est descendu nulle part au-dessous du niveau hydrostatique. Les différences observées

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 31. — ANALYSES DES MINERAIS DU CANIGOU

NOM DES CONCESSIONS	Fe^2O^3	Mn^3O^4	SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	SO^3	Ph^2O^5	PERTE AU FEU	TOTAL	FER métallique
Las Indis et Roques Nègres	85,70	6,15	4,10	0,5	1,10	0,25	traces	traces	11,05	99,85	60
Fillols	77,22	6,50	6,11	0,19	7,05	0,32	traces	traces	10,44	97,83	54,06
Sahorre	68,25	2,93	8,57	6,45	2,59	»	»	»	11,76	99,55	47,77
La Pinouse	80,30	6	2,3	»	traces	traces	»	0,05	11	99,65	56,21
Vernet	72,57	5,30	7,50	0,75	1,60	»	»	»	11,88	99,6	51,20
Escaro Sud	77,1	6	5,6	0,6	0,30	traces	traces	traces	10,3	99,90	53,97
Puymorens	72,30	3,90	8,20	6,60	»	»	»	»	7,50	96,40	56,15
Canaveilles	92,30	»	4,60	1,30	»	»	»	0,03	1,60	99,83	64,61
Escoumps (comm. de Nyer)	66 à 79	1,3 à 7	3 à 12	0 à 6	0 à 6,30	0 à 6	0 à 0,3	0,06 à 0,12	6,5 à 29	»	46 à 56
	77,9	8	2	»	0,20	traces	»	0,12	11,3	99,52	54,53
Escaro	75 à 78	6 à 8	1,6 à 6,30	0,6 à 2	0,2 à 0,6	traces	0 à 0,6	0,06 à 0,12	10 à 12	»	53 à 55
Aytua	73,20	9,20	5	»	»	»	0,05	0,11	12	99,56	51,44
Thorrent (spathique grillé)	84,76	4,40	8,20	»	»	0,03	0,16	0,05	1,90	99,5	59,33
	73,66	1,13	9,40	2,78	3,35	»	»	»	10,18	99,5	51,56
Saint-Vincent (spathique grillé)	82	3,30	9	1	0,5	0,4	traces	traces	3,30	99,5	57,4
Ballestavy	70,5	6	7	10,5	traces	traces	traces	0,05	16	99,5	49,35
Le Pountet	84	4,5	2	»	0,3	traces	»	0,06	9	99,86	58.80
Le Boulet	72,5	4	11,50	traces	traces	traces	traces	0,10	11,50	99,6	50,75
La Tour de Batère	65,6 à 68,6	1,3 à 1	1,3 à 2	»	traces	traces	»	»	31 à 38	99,8 à 99,7	46 à 49
Velmanya	76	2,95	10	0,25	traces	traces	traces	0,04	9,9	99,14	53,2
Velmanya	75,19	4,2	8,1	2,1	traces	traces	0,07	0,09	9,9	99,65	52,63
Labastide (fer spathique)	68,3	2,3	4	»	traces	0,6	»	0,04	24,6	99,84	47,81
Labastide (fer oligiste)	92,6	3,6	3	traces	»	»	»	0,6	0,30	99,76	64,82

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'un gîte à l'autre sont celles qui existent toujours dans le processus d'altérations semblables et qui tiennent notamment aux facilités plus ou moins grandes de la circulation des eaux. D'ordinaire, on a des géodes de limonite mamelonée, de la limonite stalactiforme, d'autre compacte et scoriacée avec irisations superficielles, puis du fer oligiste en lamelles micacées près de la surface, de l'hématite rouge, du fer magnétique (exceptionnellement puissant à Puymorens), enfin du carbonate de fer spathique, moucheté de pyrite de fer.

On trouve des mélanges de ces minerais et tous les types intermédiaires. Le fer spathique renferme, comme nous venons de le dire, du carbonate de manganèse; de même, les minerais oxydés tiennent du peroxyde de manganèse. On rencontre aussi de la galène, du quartz, du spath-fluor.

Pratiquement, ces minerais se vendent, sur chemin de fer, humidité déduite, au prix de base de 10,50 à 11 fr. pour 50 p. 100 de fer et manganèse, plus ou moins 0,25 à 0,30 fr. par unité de ces deux métaux en plus ou en moins.

L'hématite moyenne tient de 51 à 54 de fer et 3 à 4 de manganèse; le spathique grillé, 53 à 57 de fer et 4 de manganèse.

Le tableau 31 de la page précédente rapproche les unes des autres certaines analyses des minerais de cette région.

Les gîtes principaux sont les suivants :

a) **Groupe de Prades.** — Ce groupe comprend : de l'Ouest à l'Est, Puymorens, à une cinquantaine de kilomètres à l'Ouest de Prades, dans une région tout à fait indépendante; puis Escoumps (Com. de Nyer), Olette, Escaro, Aytua, Thorrent, Sahorre, le Vernet, Fillols, Taurinya.

Tous ces gisements peuvent être groupés suivant un certain nombre d'alignements.

Puymorens a été très anciennement exploité, surtout aux affleurements qui sont très considérables et qui s'étendent sur 300 m. de largeur; mais il est aujourd'hui abandonné.

Le nombre des couches et l'importance du gîte y sont peu connus. La couche principale est orientée E. 35° S. et plonge de 55° vers le Sud. Le minerai est du fer magnétique mélangé à des traces de fer spathique et d'hydroxyde. La puissance est parfois considérable.

A *Escaro Sud*, deux couches ont été reconnues; elles ont une inclinaison de 30 à 40 degrés, plongent vers le Nord, ont un mur schisteux, un toit calcaire. La couche inférieure a une puissance variant de 10 à 35 m., la couche supérieure de 10 à 25 m. Le minerai est, à la surface, de l'hydroxyde passant au fer spathique en profondeur.

A *Escaro Nord*, la formation métallifère se compose de 5 couches principales se répartissant sur une puissance de 168 m. Les couches sont très régulières et varient en épaisseur de 10 à 30 m. Le minerai est de l'hydroxyde passant au fer spathique en profondeur.

A *Aytua*, les minerais sont fortement manganésés; le gîte comprend trois couches presque verticales, assez peu connues, de fer hydroxydé passant au fer spathique.

La concession du *Thorrent* comprend trois couches. L'inférieure a une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

puissance de 8 à 16 m. et se compose de fer spathique; l'intermédiaire a une puissance moyenne de 14 m. et produit de l'hydroxyde mêlé de carbonate. La supérieure est peu connue.

La concession de *Sahorre* comprend les trois couches du Thorrent. Elles sont là d'une allure tourmentée. Leur puissance varie de 7 à 30 m. On trouve de la galène en assez grande abondance sur la rive droite de la rivière de Sahorre.

Au *Vernet*, on retrouve les trois couches de Sahorre et une quatrième couche indépendante de celles-là. La couche supérieure seule a été exploitée. Sa puissance moyenne est de 10 m., le minerai est de l'hydroxyde passant au fer spathique. La troisième couche a été l'objet d'exploitations à ciel ouvert; elle paraît se composer de deux bancs de minerai de 0,90 m. à 1 mètre de puissance séparés par des schistes.

La concession de *Fillols*, la plus importante de la région, est une des moins connues, bien qu'elle ait été fortement exploitée L'exploitation, qui comporte plusieurs travaux à ciel ouvert, porte sur cinq couches distinctes et deux qui semblent être le prolongement des couches du Vernet. Leur puissance varie de 4 à 30 m.; le minerai est de l'hydroxyde passant au fer spathique. On trouve une certaine quantité de galène.

b) **Groupe de Batère**. — Les concessions de ce groupe sont : 1° dans la commune de Corsavy, Aigues Blanques, Bernado, Bigarrato, la Bonade, Dalt, Del-Pou, las Canals, las Coudeillas, las Indis et Roques-Nègres, Saint-Pierre et los Grillados; 2° dans la commune de Velmanya, Velmanya et Villafranca; 3° dans la commune de la Bastide, le Boulet et la Tour de Batère. On y connaît au moins quatre bandes calcaires principales, qui semblent croisées par 5 à 6 veines métallifères N.E.

Le remplissage de toutes les mines du groupe est essentiellement de la mine blanche, c'est-à-dire un fer spathique carbonaté manganésifère.

La *Serra de Roques-Nègres*, située au Sud du Canigou, renferme à l'Est de nombreux gisements jusqu'à près de 1 700 m. d'altitude.

Les gîtes de *Las Indis et Roques-Nègres* (au Sud de la Tour de Batère) ont été exploités de temps immémorial et sont ceux qui ont fourni le plus de minerai aux forges catalanes. La couche que l'on exploite est presque verticale, et sa puissance atteint parfois jusqu'à 75 m. Le minerai est de l'hydroxyde riche et manganésifère, mélangé d'une certaine quantité de fer spathique.

Les mines de *la Pinouse* et *Sarrat-Magre* (commune de Velmanya) ont été attaquées depuis la plus haute antiquité. Les anciens exploitaient en descendant par boyaux irréguliers, ne prenant que l'hydroxyde tendre; il existe encore de ces descenderies s'enfonçant à plus de 250 m. de profondeur.

Le minerai se compose ici de trois couches ou filons principaux. La première couche est très irrégulière; sa puissance varie de 1 m. à 25 m.; elle est inclinée de 70 à 80 degrés et se compose d'hydroxyde riche vers le haut et de fer spathique dans les parties profondes. La seconde couche a une puissance variant de 2 à 6 m. La troisième est peu connue.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Enfin, à *Ballestavy*, la puissance de la couche exploitée est de 5 à 20 m.; la couche est presque verticale. Elle se compose, en allant du mur au toit, de

0,10 m. d'argile ferrugineuse.
0,35 m. de fer spathique pauvre et pyriteux.
0,32 m. de pyrite compacte.
11,23 m. d'hydroxyde brun maganésifère un peu pyriteux avec une teneur de 52 p. 100 de fer.

L'ensemble de tous ces gisements est estimé contenir entre 30 et 60 MT de minerai.

5° GISEMENTS DES CORBIÈRES ET DE LA CAUNETTE (Aude)

Des types de gisements ayant la même origine, mais dont le caractère filonien est resté beaucoup plus net, se retrouvent au Nord des Pyrénées, dans les chaînons parallèles à la grande chaîne. Nous ne les citons ici que pour le rapprochement d'origine; car les phénomènes de substitution aux calcaires n'y interviennent pas et l'oxyde de fer y est directement produit par l'oxydation de la pyrite.

A *Saint-Martin* et à *Lesquerde*, près de Saint-Martin (région de Saint-Paul de Fenouillet), on a décrit, depuis longtemps, de véritables filons d'hématite. L'un d'eux, avec quartz, pénètre dans le trias et lance des ramifications dans les cargneules, mais semble s'arrêter avant la muraille du calcaire barrémien [1].

A la *Caunette* (14 km N. de Carcassonne), Bernard a décrit [2] un système de filons altérés : les uns de quartz et chalcopyrite ayant donné quartz, sidérose et cuivre gris; d'autres de pyrite ou mispickel ayant produit de l'hématite, parfois avec galène. Un chapeau d'oxyde de fer de 100 m. recouvre un grand filon plombo-argentifère. Des traces d'or sont liées à la présence du mispickel, comme l'argent à celle de la galène.

Le gisement de *Castanviels*, dans l'Aude, est au contact des calcaires et des schistes, formé d'hématite souvent arsénicale sur 2 m. de puissance. A *Serremijeanne*, dans le même département, un peu d'hématite brune manganésifère provenant de sidérite s'intercale dans les calcaires dévoniens.

Dans le Tarn, il existe une zone minéralisée passant fréquemment à la pyrite entre *Ambialet* et *Castres*, sur 30 km. de long (*Alban*, *Montcougoul*, *Montredon*).

6° PROVINCES DE MURCIE ET D'ALMÉRIA, ZARAGOZA, etc. (Espagne) [3]

Murcie et Alméria. — La côte Est d'Espagne présente, dans les provinces de Murcie et d'Almeria, du cap Palas au cap de Gate, un certain

[1] Dufrénoy. *Explic. de la carte de France*, t. 3, p. 128. — Roussel. *Loc. cit.*, p. 262 et 265 (B. S. G. F., 3e, t. 20, p. 530, réunion des Corbières). — On a parlé à tort, à ce propos, de granites crétacés.

[2] Coll. Ec. d. M., 2643. — 1897. Bernard (Ann. d. M., 9e, t. 2, p. 597 à 637).

[3] Voir 1910. *Iron ore Resources*, p. 76 à 81.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nombre de gisements de fer qui ont été étudiés, en 1873, par L. Aguillon, et qu'on peut rapprocher, à tous égards, de ceux des Pyrénées.

Ces gisements se rapportent à plusieurs groupes, qui sont du Nord au Sud :

1° Morato, Monte-Cuco et le versant Sud de la sierra de Frente ; 2° chaînon de Parazuelos et sierra de Lomo de Bas ; 3° sierra de Cocon (près d'Aguilas) ; 4° sierra de Medio (à l'Ouest de la précédente) ; 5° sierra Almagrera (las Herrerias) ; 6° sierra de Bedar ; 7° Carbonara, la Ferreria et la Fraternidad.

Plus au Nord, se trouve l'important district de Carthagène, où l'on exploite à la fois le fer, le plomb, le zinc, etc., et que nous nous réservons de décrire à propos du plomb.

Les terrains de cette région, généralement très disloqués, comprennent du silurien étudié par de Verneuil et, d'après Bottella, du permien.

En ce qui concerne la *géologie des gisements*, on peut distinguer ceux

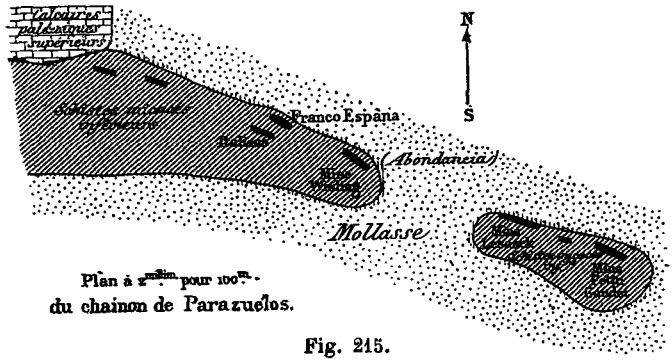


Fig. 215.

qui sont encaissés dans les schistes et ceux dans les calcaires. Comme toujours, les premiers, moins productifs, sont moins connus. Malgré certaines apparences d'interstratification, le caractère filonien de l'ensemble est prouvé : 1° par la nature et le mode d'altération des terrains encaissants ; 2° par la pénétration, dans ces terrains, de veines ou veinules de minerai parfaitement nettes ; 3° par l'existence, en quelques points, de vrais filons, en général assez minces et peu continus, coupant nettement la stratification (Isabel). Les filons, dans les schistes, se présentent par lentilles distinctes, d'une faible épaisseur (en général 1,50 m. ; exceptionnellement 4 m. à San-Francisco ; plus de 6 m. à Bolivia, où le minerai est en contact avec du calcaire). A España (Lomo occidental), il y a eu serrement complet à 35 m. de profondeur.

Dans les calcaires ou à leur contact, il peut se présenter des épanouissements, qui ont fait croire parfois que le fer était subordonné au calcaire : par exemple à Parazuelos et dans le groupe de Carbonara du district de Garrucha.

La nature des minerais est, comme leur allure, influencée par la nature du terrain encaissant.

Dans les schistes, on a un fer hydraté à cassure terreuse, tendre, de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

couleur rouge brun : minerai siliceux sans soufre ni phosphore, tenant, dans les belles qualités, 55 p. 100 de fer, dont 2 à 5 p. 100 de manganèse. On a aussi des minerais schisteux se débitant en plaques plus ou moins minces à 45 ou 50 p. 100 de fer. Et l'on rencontre enfin tous les passages de plus en plus terreux et pauvres jusqu'aux carcasses schisteuses qui forment les salbandes.

Quelques mines fournissent des minerais spéciaux: ainsi, à la mine Perdiz, sur le sommet du Lomo, on a exploité un minerai massif, à faible tendance schisteuse, géodique ou caverneux, brun noir, avec les géodes entourées d'une auréole manganésifère lui donnant l'aspect d'un œil de perdrix (d'où le nom de la mine).

Dans les calcaires, on a ce que les mineurs des Pyrénées appellent des *mines douces:* fers hydratés en roches, tendres, noirs, excessivement manganésifères, tenant 55 à 56 p. 100 de fer et 5 à 10 p. 100 de manganèse. Ces mines douces passent rapidement en profondeur à des fers spathiques.

Passons à la description de quelques-uns de ces gisements :

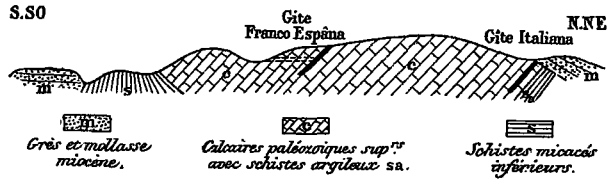


Fig. 216. — Coupe N.N.E.-S.S.W. du chaînon Parazuelos à la hauteur des gîtes Franco-Espana et Italiana (d'après L. Aguillon).

Le *chaînon de Parazuelos* (fig. 215 et 216) est constitué par des calcaires avec schistes argileux micacés. Cet étage forme un V au milieu de terrains plus anciens. Des couches miocènes recouvrent, en partie, l'ensemble.

Au milieu des calcaires, se trouvent quelques gîtes d'une certaine importance : Franco España, amas de 8 à 10 m. de large au milieu du calcaire; la mine Petin-Gaudet, formée de mine douce et de calcaire manganésé à 20 ou 30 p. 100 de fer, etc.

2° Dans la province d'Almeria se trouvent les mines de la *Ferreria et de la Fraternidad,* qui ont établi autrefois, en France, la réputation des mines douces de cette région. On y a exploité de grands amas d'hématite qui, en profondeur, ont passé au fer spathique.

Tierga (Zaragoza). — A 20 km. Nord de l'embranchement de Calatayud, sur le flanc Nord de la sierra de la Virgen, d'importants amas d'hématite, évalués à 34 MT, s'intercalent dans les calcaires dolomitiques siluriens, au contact des schistes.

Sierra Menera. — Plus au Sud, la sierra Menera, sur les deux provinces de Teruel et de Guadalajara, contient de grands amas de substitution au contact des calcaires jurassiques et des schistes siluriens (93 MT) et, sur

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

son prolongement, les amas analogues d'*Almohaja* (Teruel), près Santa Eulalia, sont évalués à 40 MT.

Jaen. — Dans le Sud de la province de Jaen, les calcaires dolomitiques du trias renferment des amas d'hématite à 55-60 p. 100, avec un peu de magnétite.

7° GARD ET ARDÈCHE

Généralités. — Nous rattachons aux mêmes phénomènes de substitution d'origine filonienne qui ont produit les gisements de Bilbao ou du Canigou, une série de manifestations ferrugineuses localisées le long des accidents qui limitent au Sud-Est le Plateau Central dans le Gard, l'Ardèche, etc. : manifestations en rapport avec d'autres formations filoniennes du groupe complexe plombo-zincifère, auxquelles sont dus notamment des amas de calamine.

Beaucoup de ces minerais se sont substitués à la dolomie hettangienne qui surmonte les conglomérats et grès de la base du trias: niveau dont la constitution minéralogique et l'intercalation au milieu des schistes devaient présenter des conditions particulièrement favorables à cette imprégnation. C'est au toit de cette dolomie que se trouvent, dans le Gard, les gîtes de Bordezac et le Travers près Bessèges, Saint-Florent, Blannaves, etc.[1], exploités autrefois par la Compagnie de Terrenoire, la Voulte et Bessèges. Dans l'Ardèche, on a, au mur de la même dolomie, Ailhon, Merzelet, Montgros, etc. Nous emprunterons à un mémoire de Ch. Ledoux[2] quelques détails sur ces mines.

Le trias de l'Ardèche qui, sauf un lambeau de permien près Largentière et un peu de houiller près Banne, repose, en général, directement sur le terrain primitif, commence par 15 m. de conglomérats, surmontés d'environ 35 m. de grès. Puis viennent des marnes schisteuses et enfin un calcaire jaunâtre dolomitique, de 1 à 6 m. d'épaisseur, qui constitue l'horizon métallifère signalé plus haut. On y trouve, non seulement les minerais de fer de Merzelet, Montgros, etc., mais de la galène à Largentière et Notre-Dame de Laval, de la calamine près Joyeuse, de la pyrite à Soyons[3], etc.

Le minerai de fer se compose, tantôt de carbonate, tantôt de peroxyde hydraté, qui résulte de la décomposition du premier, comme nous le verrons pour Merzelet. Sa stratification, absolument concordante avec celle des couches encaissantes, l'a quelquefois fait considérer à tort comme contemporain des dépôts.

Merzelet (Ardèche)[4]. — La couche de minerai de fer de Merzelet est intercalée dans le trias sous le banc de calcaire dolomitique mentionné

[1] Coupes dans Cszyskowski, *loc, cit.*, pl. X.

[2] *Minerais de fer de l'Ardèche* (Privas), 1868.

[3] Voir plus haut. t. 1, p. 349.

[4] Coll. Ecole des Mines : Merzelet (1921) ; St-Priest (1176) ; Veyras (1178) ; Privas (1179).

[5] Voir: 1868. Ledoux. *Etude sur le triasique et le jurassique et les gisements de minerai de fer de l'Ardèche* (1 vol. Privas). — 1890. Fèvre. Notes inédites.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tout à l'heure, et dont on suit l'affleurement du Sud de Merzelet jusqu'à Chaunes, au Nord. La direction est d'environ N.-25°-E. avec une pente de 10 à 12° vers le S.-E. Cet affleurement est situé à peu de distance de la crête qui sépare la vallée de la Lende à l'Ouest, de celle de l'Ardèche à l'Est, sur le versant Ouest de cette ligne de collines. Sur le versant Est, par suite d'un anticlinal, l'affleurement reparaît dans le ravin de Courte-Oreille et dans celui du Roubier; la couche s'enfonce ensuite, avec le trias, sous le jurassique, en reprenant son pendage Sud-Est. Une exploitation très restreinte y a été recommencée en 1888, après une suspension de sept ans, et a duré quelques mois. Ce gîte peut nous permettre d'étudier l'altération superficielle du carbonate et sa transformation en peroxyde.

Aux affleurements, on avait trouvé jadis 4 m. de minerai peroxydé, facile à abattre, cloisonné, ayant une teneur de 50 à 60 p. 100 de fer manganésifère et traversé par des veinules barytiques. En profondeur, on a rencontré, soit du stérile, soit du minerai pierreux, dolomie mêlée d'argile avec 12 à 15 p. 100 seulement de fer (donc inexploitable). Le minerai cloisonné de la surface vient d'une décomposition de ce minerai carbonaté et en conserve souvent des fragments. Il ne se trouve, par suite, qu'au voisinage de la superficie et des failles où l'eau a pu agir sur lui. Dans la partie Sud de la couche, près de Merzelet, il en existe une région qui a paru exploitable.

A un premier degré d'altération, on a un noyau de carbonate tenace et inaltéré, la croûte étant épaisse et changée en limonite adhérente au noyau. Quand l'altération est plus avancée, le noyau perd sa consistance, devient sableux ou marneux, blanchit et cesse d'adhérer à l'enveloppe hydratée. Cette décoloration prouve que les éléments ferrugineux se sont transportés, par une sorte de cémentation, du centre à la circonférence. On a quelque chose d'analogue dans les *pierres d'aigle* quaternaires, où un noyau de marne blanchie est emprisonné et souvent mobile dans une enveloppe de limonite.

Actuellement, les minerais du *Gard*, exploités dans la concession d'Alais, fournissent 40 à 50 000 t. par an (40 000 en 1909), qui alimentent les hauts fourneaux de Tamaris et de Bessèges. On a là des poches atteignant 100 m. de hauteur et irrégulièrement remplies de limonite. Une teneur notable en arsenic paraît correspondre à d'anciens mispickels oxydés.

8° ALPES STYRIENNES, EIZENERZ, VORDERNBERG, ETC.[1]

Nous avons annoncé, en commençant cette étude des minerais de substitution, que nous décririons à cette occasion un certain nombre de

[1] Gisement visité en 1883. — Coll. Ecole des Mines, 1919. — Voir : MÜNICHSDORFER. *Geschichte des Hüttenberger Erzberges.* — 1876. GRÜNER. *Sur la métallurgie du fer en Styrie et Carinthie* (Ann. d. M., 7e, t. 9). — 1884. CSZYSKOWSKI. (B. Soc. Ind. Min., p. 318). — 1900. VACEK. *Skizze eines geol. Profils durch den Steyerischen Erzberg* (J. d. k. k. geol. Reichs. Wien. t. 50 p 25 à 33). — 1903. REDLICH. *Ueber das Alter und die Entstehung einiger Erzlagerstätten der steirischen Alpen* (J. d. k. k. geol. Reichs. Wien., t. 53) avec bibl. antérieure dans les notes — 1903. TAFFANEL. *Le gisement de fer spathique de l'Erzberg, près Eisenerz en Styrie* (Ann. des mines, juillet 1905, 10e, t. 4, p. 24). — 1906. L. DE LAUNAY. *Métallogénie de l'Italie.* — 1910. *Iron ore Resources of the world,* p. 153 avec carte. — Cf. *Jahrbuch de Leoben* et *Kärntner Zeitschrift; passim.*

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gisements rattachés par d'autres géologues au groupe sédimentaire : groupe sédimentaire qui, lui-même, comme nous le verrons, devrait être presque entièrement supprimé et ramené dans ce groupe des substitutions s'il fallait admettre une théorie discutée plus loin.

Les gisements des Alpes styriennes (Eizenerzer Alpen), comme ceux de Silésie qui vont être étudiés ensuite, sont parmi ceux pour lesquels l'origine sédimentaire a été le plus souvent admise et peut encore être soutenue par les arguments les plus plausibles. Nous croyons cependant y voir une substitution proprement dite au sens où nous l'avons entendu dans ce chapitre, c'est-à-dire une substitution localisée, d'origine filonienne probable, avec intervention prédominante des altérations superficielles récentes.

Les gisements dont il s'agit ici (fig. 217), généralement exploités par l'Alpin Montan Gesellschaft, forment, sur environ 60 km. de long, un chapelet de lentilles multiples qui part à l'Ouest d'Aigen (14°20'), passe à Admont, Radmin, aboutit à Eizenerz, où se trouve un énorme amas, et continue jusqu'à Vordernberg (15°) [1]. L'aspect d'une carte de ces gisements rappelle tout à fait les cartes de certains gisements suédois, tels que Grängesberg ou Gellivara. Plus à l'Est, on retrouve une série de gisements analogues, mais plus disséminés, jusqu'à Altenberg et Murzzuschlage près du Semmering.

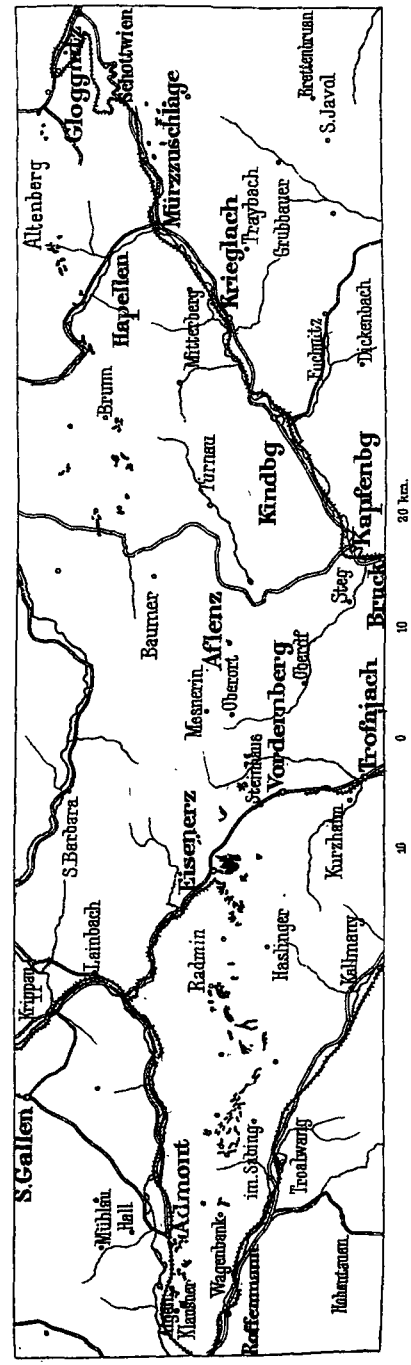


Fig. 217. — Carte des gisements de fer de Styrie (Oest. Alpinen Montanges. (D'après Iron Ore Resources.)

[1] L'un des principaux arguments en faveur de la théorie sédimentaire est l'existence d'amas de fer spathique se succédant sur une longueur de près de 300 km.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le minerai, associé avec un calcaire à crinoïdes du dévonien inférieur auquel il se substitue, repose sur une grauwacke sous des schistes triasiques et décrit de nombreuses sinuosités dues aux plissements (fig. 218). Il est formé de sidérite et ankérite plus ou moins transformées en peroxyde. A Eizenerz, la puissance réelle atteint 160 à 200 m., avec une hauteur verticale apparente d'environ 730 m. Ce serait, pour les géologues autrichiens, un enrichissement extraordinaire dans une couche stratifiée. Ses caractères, aussi bien que sa pureté en phosphore, le distinguent tout au moins des minerais de fer sédimentaires ordinaires.

Dans les gisements les plus importants, le minerai est très pur et ne renferme qu'assez rarement des mouches de pyrite de fer ou de cuivre. Mais les gîtes secondaires contiennent toujours une proportion assez forte de sulfures. Nous croyons, dès lors, que l'origine de ces minerais altérés doit être un mélange de sulfures de fer et de cuivre, dont on retrouve des traces de plus en plus sensibles en s'enfonçant. En dehors des minerais proprement dits à 25-45 p. 100 exploités depuis la plus haute antiquité et dont il peut rester 200 MT rien qu'à l'Erzberg, on a de grandes quantités de calcaires ferrugineux (rohwand) à 15-25 p. 100 de fer, qui sont pour nous un premier stade de la substitution ferrugineuse.

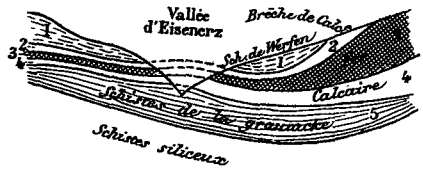


Fig. 218. — Coupe verticale de la vallée d'Eisenerz, d'après Grüner.

De la sorte, ces gisements reprennent leur place dans un ensemble d'imprégnations sulfureuses, analogues à celles que nous venons d'étudier et dont ils occupent à peu près le centre : imprégnations, pour lesquelles le caractère filonien apparaît de tous côtés, chalcopyrites de la *Veitsch* (Dürsteinkogel) et minerais d'*Altenberg* près de Neuberg, du côté du Semmering; mine d'*Oeblarn* dans l'Ennsthal; puis, à l'Ouest, région d'*Hieflau*, de la *Radmer* et du *Zeyritz-Kampel*, où l'on observe un peu partout, avec la pénétration dans des terrains divers, grauwackes, schistes, etc., le rôle habituel en pareil cas des contacts entre calcaires et schistes, ainsi que le passage des pyrites aux ankérites et sidéroses retenant des noyaux de pyrite ou cuivre gris, puis aux calcaires stériles par l'intermédiaire des « Rohwand ». Parfois le mispickel apparaît (Erzberg près Eisenerz, Altenberg près Neuberg, Gollrad) et l'on a même signalé des traces de cinabre. D'après Redlich, ces minerais auraient une relation avec des diabases transformées en schistes amphiboliques, c'est-à-dire avec des imprégnations basiques.

Les minerais de Sterzing et de Krems près *Gmünd* renferment une association de pyrite et magnétite analogue à celle de Traverselle.

Enfin, vers le Sud-Ouest, à environ 60 km. d'Eisenerz, l'on arrive à la zone ferrugineuse d'*Hüttenberg* en Carinthie, qui commence, à l'Ouest, à Olsa près Friesach et finit à Lolling[1], où les minerais, encais-

[1] 1992. *Baumgärtel* (Jahrb. d. k. k. geol. R. Wien., t. 52, p. 219). D'après cet auteur, il y aurait relation des minerais avec un granite profond, dont on observe de tous côtés les injections dans les schistes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sés dans des terrains tout différents de ceux d'Eisenerz (cipolins avec gneiss et micaschistes), présentent les mêmes phénomènes de substitution intrusive et d'altération superficielle qu'à Eisenerz.

Ces gisements, dont les principaux appartiennent aussi à l'Alpin Montan Ges., fournissent des sidérites à 43-49 p. 100 souvent fortement manganésifères et des limonites.

9° ELBINGERODE (Harz) [1]

Les actions de substitution, qui ont pu être discutées pour les mines de l'Erzberg, paraissent, au contraire, d'après Groddeck, devoir être invoquées avec certitude pour les amas d'hématite rouge intercalés dans le calcaire à stringocéphales (dévonien moyen) du bassin du Rhin et du Harz : amas où l'on trouve, comme en Cumberland, les fossiles caractéristiques du niveau transformés en minerai de fer. Il est possible que les diabases, toujours fréquentes au voisinage des amas, aient joué un rôle dans la venue ferrugineuse.

Dans le bassin d'Elbingerode, les principaux amas sont ceux de *Büchenberg* et de *Tännichen*. Le premier a 30 m. de puissance et est exploité sur 4 000 m. de longueur; il est interstratifié entre des schalsteins (tufs de diabases) et des phyllades Il est formé surtout d'hématite rouge; accessoirement, de sphérosidérite. Dans l'amas de Tännichen, qui forme un fond de bateau plat de 260 m. de largeur et est entièrement intercalé dans le schalstein, le minerai, très riche en fossiles, est essentiellement carbonaté.

Dans les Provinces Rhénanes, des gisements analogues et du même âge se trouvent à *Brilon*, *Wetzlar*, *Weilburg*, *Dillenburg*.

10° SILÉSIE [2]

L'importante industrie sidérurgique du bassin silésien est, en grande partie, alimentée par des minerais d'importation; mais elle tire aussi une partie de ses minerais de la région. Les principaux gisements sont en relation directe avec le niveau plombo-zincifère intercalé dans les dolomies du muschelkalk, qui sera ultérieurement décrit à l'occasion du zinc. On peut les considérer comme dus à une altération superficielle (avec remise en mouvement restreinte) des pyrites englobées dans ces minerais complexes : altération connexe de celle qui a donné la calamine aux dépens de la blende. Les sulfures, ainsi que nous le verrons, semblent bien, malgré leur interstratification apparente, représenter un type particulier de filon-couche.

[1] HAUCHECORNE. (Zeitschr. f. d. Berg. H. u. S. im preus. St., t. 16, p. 199). — 1860. STEIN. (Z. d. D. geol. Ges., t. 12, p. 208). — 1866. *Le filon de minerai de fer de Horhausen* (*Prusse Rhénane*) *et sa formation par voie humide* (Cuyper, t. 9, p. 153). — 1881. V. GRODDECK, *loc. cit.*, p. 118.

[2] Gisement visité en 1892. — Voir : 1822. OEYNHAUSEN. (*Geogr. Beschr. von Oberschlesien.*, p. 120, 150 et 164). — 1847-51. WACHLER. *Die Eisenerzeugung Oberschlesiens.* — 1860. COTTA. (B. u. H. Zeit., n° 12). — 1870. ROEMER. *Geol. Oberschlesiens*, p. 531.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ces minerais ferrugineux du muschelkalk (Tarnowitz, Beuthen, Gross Strehlitz) se présentent à l'état d'amas irréguliers d'hématite brune impure (tenant souvent moins de 25 p. 100 de fer) dans les calcaires et dolomies. Ils sont toujours localisés le long des affleurements de la dolomie métallifère, superposée au calcaire que l'on appelle le wellenkalk et l'on peut observer, lorsqu'on s'enfonce dans la couche, l'existence d'une dolomie rouge, chargée de 10 à 15 p. 100 d'oxyde de fer avec du plomb et du zinc, qui, peu à peu, passe en profondeur à une dolomie bleue, où fer, plomb et zinc sont restés à l'état de sulfures.

Les gisements, toujours extrêmement restreints, mais très nombreux, présentent deux types : les poches (mulden) et les nids (neste), dont une coupe théorique (fig. 219) indique la disposition.

Les *poches* (mulden) sont dans la dolomie métallifère et s'arrêtent, en général, au wellenkalk au-dessous. Elles ont 10 à 30 m. de diamètre ; au plus, 30 m. de profondeur. Il apparaît, au milieu du minerai, des blocs de dolomie corrodée qui ont résisté à la dissolution par les eaux. Le minerai est enveloppé d'une couche d'argile blanche, qui peut avoir de 0,10 m. à 1 m. et qui repose directement sur la dolomie.

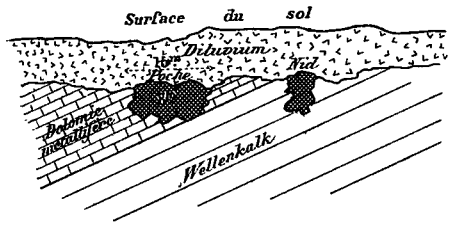


Fig. 219. — Coupe verticale théorique des gites de minerai de fer de Tarnowitz.

Les *nids* (neste) remplissent des cavités creusées dans le wellenkalk, situé stratigraphiquement au-dessous de la dolomie, qui a fourni le fer et que les érosions ont fait disparaître. Les cavités, plus restreintes que les poches, ont 5 à 6 m. de diamètre, autant de profondeur ; on y observe également, sur la périphérie, un enduit d'argile blanche et les parois calcaires semblent avoir subi un commencement d'attaque.

Le minerai, dans ces deux catégories de gisements, a, le plus souvent, l'aspect d'un ocre jaune, d'une terre brune plus ou moins argileuse ; quelquefois aussi, on trouve des rognons d'hématite qui peuvent être manganésifères.

La teneur moyenne est de 38 à 40 p. 100 de fer ; 22 à 35 p. 100 d'eau ; 15 à 20 p. 100 de résidu. Il y a 0,3 p. 100 de phosphore.

Les exploitations, réduites à des fouilles superficielles, se déplacent incessamment.

11° ILE D'ELBE [1]

Les minerais de fer de l'île d'Elbe, exploités depuis la plus haute antiquité, ont été étudiés et décrits à maintes reprises. Leur interprétation a

[1] Coll. Ecole des Mines, 1933. — Gisement visité en 1904. — Voir : 1836. Savi. *Sulla minera di ferro dell'isola d'Elba.* — 1871. Cocchi. *Descr. geol. dell' isola d'Elba.* — 1876. Lotti. *Impressioni geol. di una breve gita all'isola d'Elba* (Boll. geol., t. 7). — 1883. Lotti. *Carte géologique de l'île d'Elbe* (Mém. à la Soc. toscane des sciences naturelles. 14 juin). — 1884. Czyskowski. *Expl. des régions ferrifères de l'île d'Elbe* (B. Soc. Ind. min., p.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

donné lieu à bien des théories. Comme je l'ai exposé ailleurs plus en détail, je les considère comme résultant d'une manifestation filonienne en rapport probable avec la mise en place des granites tertiaires, et avec les mouvements de charriage qui ont, vers le même moment, provoqué des retours en profondeur[1]. Ces filons, analogues à ceux du continent toscan, n'ont pris d'importance que là où ils ont rencontré des calcaires. La superposition des métamorphismes ignés et des métasomatoses aux phénomènes primitifs a produit leur apparente complexité.

Géologie générale. — La géologie de l'île d'Elbe vient d'être renouvelée par P. Termier[2], qui l'envisage, contrairement à l'opinion des géologues italiens, comme un exemple de charriage avec nappes successives venues du dehors et séparées par des surfaces de frottement : 1° série profonde à granite et microgranite; 2° schistes lustrés ; 3° formation ophiolitique.

Cette île est, comme le continent toscan voisin, divisée, sur la carte, par zones NS. A l'Ouest, c'est d'abord la série profonde comprenant le massif granitique fameux du mont Capanne, ce grand noyau granitique tertiaire, qui paraît s'être fait sa place au milieu des sédiments éocènes, par lesquels il est enveloppé et dans lesquels il lance des veinules à tourmaline en absorbant ces terrains et se les assimilant. Puis vient, après la dépression de la Pila, le massif des porphyres quartzifères à tourmaline, bordé à l'Est par les roches vertes de Porto-Ferrajo et du golfe de la Stella que P. Termier rattache à la formation ophiolitique supérieure. Enfin, à l'Est, on a le massif des terrains primaires redressés (présiluriens de B. Lotti), comprenant des roches écrasées ou mylonites. Tous ces terrains affectent, dans l'ensemble, un plongement général vers l'Ouest avec traces de décrochements parallèles à la direction[3].

Deux mouvements principaux sont aussitôt manifestes : l'un hercynien, qui a amené le permien (quartzites et poudingues) en discordance sur le silurien; l'autre mio-pliocène, par suite duquel les terrains éocènes, avec roches vertes connexes, ont été déplacés, charriés et laissés en lambeaux

(532). — 1886. Lotti. *Memorie descr. della carta geol. d'Italia* (isola d'Elba), 2 vol. in-8°. Ce volume contient, p. VIII, une bibliographie des publications antérieures. — 1887. *Relazione sulle miniere de ferro dell'isola d'Elba.* — Notes diverses de B. Lotti dans la Rassegna mineraria 1er oct. 1899, 1er fév. 1901, 1er déc. 1904). — 1894. B. Lotti. *Sulle apofisi della massa granitica del Monte Capanne* (Boll. Comit. géol.). — 1894. C. De Stefani. *Granulite, granilite e trachyte quartzifera dell'isola d'Elba* (Boll. della Soc. geol. ital., t. 12). — Publication de Cortese dans la Rasegna mineraria de 1899, etc. — 1901. L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 93 à 112.

Voir encore sur des questions connexes : — 1877. C. De Stefani. *L'oligisto e gli altri minerali che si trovano al Capo Calufuria* (près Livourne) (Boll. R. Com. geol. d'Italia, t. 8, p. 72). — 1877. J. Roth. *L'oligisto di Calafuria* (Boll. Com. geol. d'Italia, t. 8, p. 461). — 1898. Habets. *Sur les mines de fer manganifères du Monte Argentario près Orbetello* (Italie), 18 pages.

[1] Nous retrouverons ce rôle probable des charriages sur le continent toscan au gisement cuivreux de Monte Catini (tome 2, p. 645).

[2] 1910. *Sur la Tectonique de l'île d'Elbe* (B. S. G. F., 4e sér., t. 10, p. 134 à 159) : cf. C. R., t. 148, p. 1441 et 1648; t. 149, p. 11.

[3] Les gîtes métallifères se trouvent surtout dans la série inférieure de Calamita, mais également dans la zone à schistes lustrés qui atteint la côte entre Terranera et Riomarina et dans la série supérieure à Rialbano.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

épars sur le soubassement primitif. B. Lotti a montré de plus qu'il s'était produit, à l'époque tertiaire, une succession d'affaissements et de relèvements partiels, dont nous aurons le droit de nous souvenir quand nous envisagerons les altérations anciennes des minerais : notamment un soulèvement tout récent, qui a porté à 200 m. certains dépôts de plages quaternaires.

Les minerais de l'île d'Elbe sont tous sur la côte Est, où ils forment la traînée classique, l'alignement Nord-Sud de Rialbano, Vigneria, Rio, Terra-nera et Calamita. On les trouve là en rapport avec des terrains d'âges divers, présilurien (?), silurien, permien, lias. Leur caractère intrusif et leur origine filonienne, accompagnée de substitutions aux calcaires, ne semblent pas contestables ; ce sont très probablement des dépôts de venues hydrothermales miocènes. Mais, ici comme dans beaucoup d'autres grands gîtes ferrugineux, comme à Bilbao par exemple, les apparences extérieures ont pu induire en erreur et l'on a parfois voulu voir des épanchements superficiels de sources ferrugineuses, dans ce qui n'est qu'un gîte d'incrustation et de substitution, avec altération et remises en mouvement secondaires.

Nature de la minéralisation. — Les seuls minerais utilisés à l'île d'Elbe sont des oxydes, parmi lesquels la forme classique de l'oligiste spéculaire qui domine beaucoup dans la pratique (fig. 220) et la magnétite. On a donc généralement admis une précipitation directe par réaction du chlorure de fer (ou accessoirement du carbonate). Il convient tout au moins d'y ajouter l'intervention partielle, mais peut-être importante, du sulfure de fer.

Un très grand nombre de faits montrent la présence fréquente de la pyrite dans la profondeur des gîtes oxydés de l'île d'Elbe et le passage à cette pyrite de minerais oxydés, qui en sont l'altération superficielle. Non seulement on trouve ainsi de la pyrite de fer abondante et, quelquefois, de la chalcopyrite associée ; mais on a même rencontré des amas de galène, signalés à Rosseto par B. Lotti ; ce qui fait rentrer cet ensemble de gisements, malgré son aspect tout spécial, dans le cas des gîtes complexes ayant renfermé, avec des oxydes immédiats, des sulfures profonds superficiellement peroxydés. Suivant la nature du terrain encaissant, il en résulte, comme nous allons le voir, une allure très variable des minerais, qui concourt à rendre cette hypothèse vraisemblable.

Il est impossible d'affirmer et il n'est probablement même pas exact que tous les minerais aient été originairement des sulfures de fer. A ces sulfures ont très bien pu et dû s'associer des chlorures, ou même des carbonates, ayant la même origine profonde et une partie des minerais peut résulter de la cristallisation directe en oxydes, tels que la magnétite de Calamita, ou en silicates tels que les gangues qui l'accompagnent, dans des conditions analogues à celles de Traverselle[1]. Mais il faut néanmoins probablement considérer une bonne partie des minerais oxydés comme résultant de minerais sulfurés, d'abord oxydés, puis en partie recristallisés par métamorphisme de contact. Outre les altérations en rapport avec le niveau hydrostatique actuel, il ne faut pas oublier qu'à l'île

[1] Voir page 343.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'Elbe, nous sommes en droit d'invoquer une série de déplacements très récents du sol dans un sens ou dans un autre, ayant pu modifier la disposition réciproque des zones altérées par rapport à ce niveau ; on doit également songer à des réactions ignées presque immédiates et provoquées par le déplacement des nappes charriées ou par l'intrusion des granites profonds.

Ces minerais oxydés affectent, nous l'avons dit, à l'île d'Elbe une forme

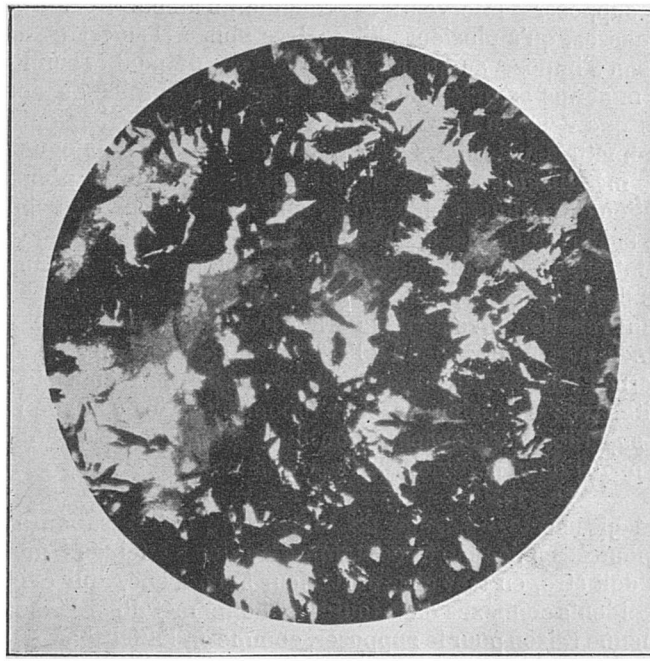


Fig. 220. —Dalle mince ferrugineuse de Calamita (Elbe). Grossissement, 50 D. Lumière naturelle. Marquetterie noire d'oligiste sur un fond blanc composé surtout de calcite avec quelques grains de quartz.

classique qui est celle des oligistes spéculaires, avec de la magnétite, assez rare dans les gisements d'oligiste, développée au contraire dans les gangues silicatées de Calamita et, de plus, un phénomène connexe de la minéralisation ferrugineuse ou de son altération a développé, par substitution aux bancs calcaires, des couches de silicates ferrugineux (ilvaïte, amphibole, pyroxène, etc.), dont les minéraux sont bien connus[1]. Pour expliquer ces formations diverses, qui ont certainement mis en jeu des réactions multiples et complexes, l'hypothèse la plus simple est donc d'imaginer un phénomène igné, peut-être dépendant des intrusions de

[1] La même association des minerais en grands amas avec les calcaires est fréquente en Scandinavie et se retrouve à Mokta-el-Hadid, où la substitution a certainement joué un rôle important. Dans tous ces cas, on rencontre, avec le fer, des silicates analogues, pyroxène, grenat, etc. Nous rappellerons également plus loin le cas du Banat.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

magmas granitiques manifestées après l'éocène plus à l'Ouest, qui aurait déterminé, tantôt le dépôt du fer en pyrite, ultérieurement oxydée et recristallisée en oligiste, tantôt sa substitution directe au calcaire sous la forme de magnétite et d'oligiste, avec combinaisons silicatées connexes dues à un métamorphisme exercé sur les terrains encaissants.

Bien qu'il y ait quelques filons de granulite à Terra-nera et à Capo-Bianco, les roches éruptives ne jouent, d'ailleurs, qu'un rôle restreint au voisinage des minerais de fer ou des silicates. Les magmas ignés, dont on peut être amené à supposer l'intervention profonde, n'affleurent au jour, par grandes masses, qu'à plusieurs kilomètres plus à l'Ouest et, quoique la comparaison s'impose aussitôt à l'esprit, l'on ne peut assimiler directement ces minerais associés aux silicates avec des gîtes de contact silicatés, tels que ceux du Banat ou de Traverselle précédemment étudiés, tout en admettant volontiers une relation d'origine analogue entre les fumerolles métallisantes et les magmas granitiques de la profondeur.

L'altération des sulfures en oxydes, que nous venons de supposer, n'a pas laissé subsister à l'île d'Elbe (en admettant qu'elle se soit produite) la forme intermédiaire carbonatée, qui domine à une certaine profondeur dans des gîtes analogues, comme Bilbao ou Eisenerz.

Enfin, une réaction inverse de la cristallisation ancienne, qui se produit journellement et qui correspond à l'altération superficielle, a pour résultat de transformer l'oligiste des affleurements ou ce qu'il subsiste de pyrite, en limonite, avec extension de cette limonite par les eaux de surface en placages superficiels et concentration du manganèse jusqu'à des teneurs de 6 à 10 p. 100 dans la région de Capo-Bianco.

Age des gisements. — L'âge de toute cette métallisation a bien des chances pour être miocène et contemporain des principaux mouvements alpins ; il doit être, en tout cas, postérieur à l'éocène, qui a été affecté par les accidents connexes dans toute la chaîne métallifère toscane ; mais il n'y a aucune raison pour le supposer, comme on l'a fait parfois, pliocène ou même pléistocène : les caractères superficiels de certains gîtes, sur lesquels on s'était appuyé pour soutenir cette hypothèse, étant uniquement le résultat d'une remise en mouvement postérieure.

Influence des terrains traversés. — En moyenne, et sans entrer ici dans le détail des gisements, les métallisations, arrivées de la profondeur par un système de fractures Nord-Sud, ont pris une allure tout à fait différente suivant les terrains qu'elles ont rencontrés. Les gisements affectent, en effet, d'une façon générale, la disposition de filons-couches, de filons de contact, localisés de préférence entre des terrains inattaquables (schistes ou quartzites) et des calcaires. C'est le long des bancs calcaires, ou dans leur masse même, que se sont développés les principaux amas et les plus purs, les plus riches en fer : résultat d'une substitution à ces bancs calcaires, qui a permis aux produits ferrugineux de s'étendre, soit au moment de la venue même, soit pendant les altérations ou les métamorphismes, en faisant tache d'huile. Au contraire, dans les schistes, le minerai est en veinules dispersées, éparpillées, ayant gardé beaucoup plus de parties pyriteuses.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Au Nord de l'île, à *Rialbano*, on a, entre des quartzites et des schistes, des filons-couches d'oligiste interstratifiés, ayant donné lieu, par une remise en mouvement récente, à des placages superficiels de limonite, sur lesquels on a parfois trop attiré l'attention d'un point de vue théorique. 3 km plus au Sud, à *Rio Vigneria*, où les exploitations ont eu une grande importance, on trouve tantôt (Rosseto) des intercalations analogues dans un système de schistes et quartzites permiens, avec abondance de sulfures, notamment de galène, tantôt de grands amas substitués à des calcaires caverneux rhétiens (Falcacci).

La dispersion si ordinaire des minerais filoniens quand ils rencontrent des terrains schisteux s'accuse à *Capo-Bianco*, où l'on a un moment exploité à la surface des poches de limonite manganésifère (renfermant un peu d'arsenic et de baryte). Ces poches, encaissées dans les schistes, correspondaient aux affleurements altérés d'un filon-couche éparpillé et ont rapidement disparu en profondeur.

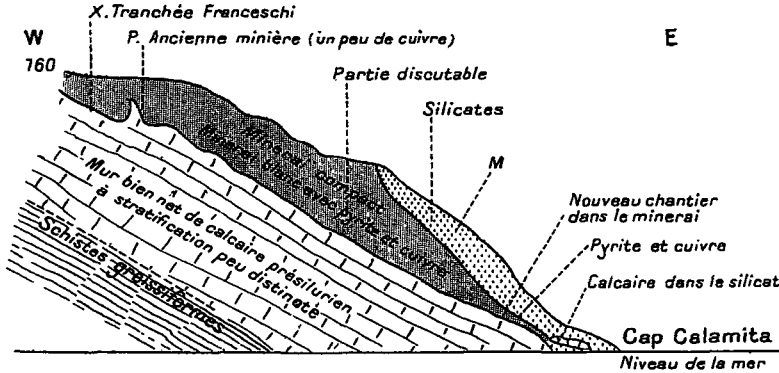


Fig. 221. — Vue de la pointe de Calamita prise de la mer au Sud.

A *Capo d'Arco*, on a reconnu, vers 1900, deux filons de contact, dont l'un a 2 km. de long parallèlement à la côte, entre les schistes et les calcaires blancs marmoréens du présilurien. Ce filon, composé à la surface d'ocres jaunes et rouges ayant pu être vendues comme matières colorantes, a montré, dès que l'on s'est enfoncé, un remplissage pyriteux, souvent assez sensiblement cuprifère. A *Terra-nera* on a exploité, jusqu'à 20 m. au-dessous du niveau de la mer, un filon-couche d'oligiste spéculaire encaissé dans les schistes, dont les parties profondes sont devenues très pyriteuses.

Enfin, dans les calcaires du Sud de l'île, les réactions d'un métamorphisme plus ou moins ancien ont produit des amas industriellement très importants et très connus également des théoriciens : gîtes devant, à la présence de ces calcaires, une transformation complète en oxydes, tandis que les minerais des terrains schisteux sont généralement restés bien davantage à l'état sulfureux. La substitution des minerais aux calcaires, que nous avons déjà rencontrée dans les autres grands gisements de Rio Vigneria, est tout à fait évidente comme le montrent nos figures 221 à

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

225. Il semble qu'il s'y soit superposé des actions ignées, auxquelles seraient dues la formation des oligistes et magnétites et celle des pyroxènes et autres silicates divers.

Nos figures montrent la disposition relative des minerais de fer, des calcaires et des silicates ferrugineux (ilvaïte, pyroxène, épidote),

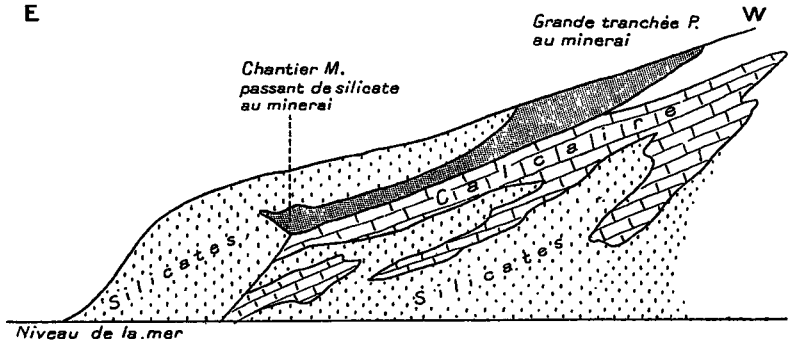


Fig. 222. — Vue de la pointe de Calamita prise de la mer au Nord.

telle qu'elle apparaît aujourd'hui à Calamita quand on regarde la côte de divers points de la mer[1]. En ce point, les travaux récents ont modifié les idées anciennes en amenant à découvrir de grandes masses d'un minerai dit « bianco », que son aspect très spécial avait fait autrefois considérer à tort comme une gangue stérile et confondre par suite avec la

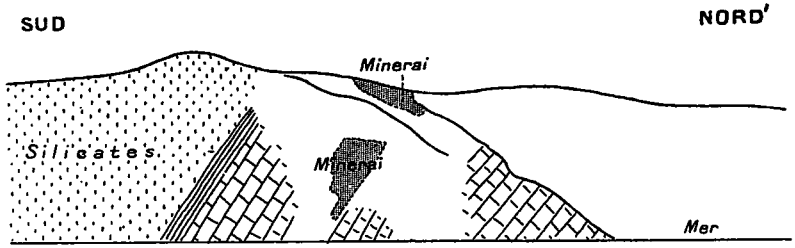


Fig. 223. — Vue de la côte au Nord du cap Calamita.

masse des ilvaïtes encaissantes, tandis que la magnétite y domine, noyée dans une gangue pyroxénique à laquelle elle doit sa couleur.

Ainsi qu'on le voit sur les deux figures 221 et 222, qui représentent la pointe de Calamita vue du Nord et du Sud, il paraît exister, au lieu d'un placage ferrugineux autrefois supposé, une grande masse de minerai, intercalée entre un calcaire formant son mur et des silicates formant son toit. Les silicates associés à ces minerais, c'est-à-dire la masse composée d'ilvaïte, de pyroxène clair radié, d'épidote et d'un peu de grenat, renferme elle-même (fig. 222) de nombreux bancs de calcaire, ayant échappé

[1] Une série de coupes de la même région ont été autrefois données par E. Lotti et quelques-unes se trouvent reproduites dans mes *Gîtes métallifères* (t. I, p. 813).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

au métamorphisme dont ils résultent évidemment. Les terrains ayant été plissés en dôme et disloqués, outre le métamorphisme ferrugineux, la disposition finale est très complexe.

Le minerai de Calamita est formé de limonite plutôt que d'oligiste, avec

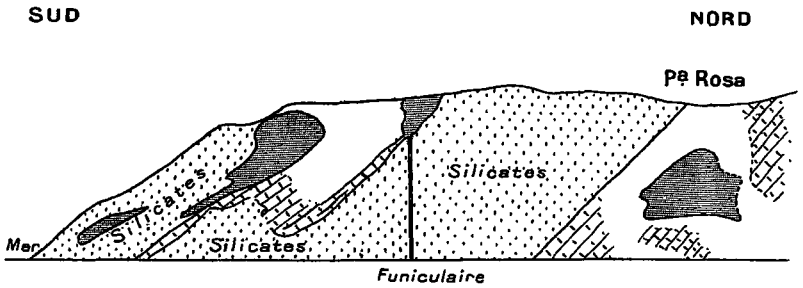


Fig. 224. — Vue perspective de Punta-Rossa, près Calamita.

des parties pyriteuses éparses de tous côtés. Ainsi, à l'ancienne minière de la tranchée Franceschi (fig. 225), située à environ 160 m. au-dessus de la mer sur le haut de la colline, on trouve un peu de pyrite de cuivre.

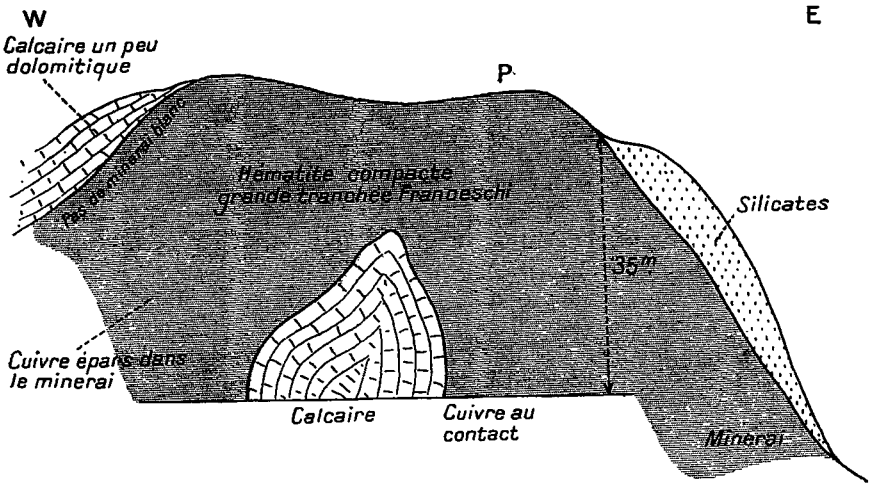


Fig. 225. — Coupe du chantier Franceschi, à Calamita.

On rencontre également et plus abondamment de la pyrite de fer avec cuivre dans de nouveaux chantiers situés beaucoup plus bas près du cap Calamita et, généralement, le mur du minerai est particulièrement pyriteux.

Enfin, la tranchée principale Franceschi (voir fig. 221), donne, dans le détail, la coupe fig. 225, où l'on voit comment le minerai enveloppe un pointement isolé de calcaire. Dans cette tranchée située vers le haut de la colline, le minerai blanc fait défaut : mais il reparaît dans un autre petit

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chantier un peu plus loin. La pyrite est là assez abondante, surtout à la base du minerai et à son contact avec le calcaire. Il y a, en outre, un peu d'ilvaïte dans le minerai.

Exploitation. — L'exploitation des mines de l'île d'Elbe, que Virgile mentionnait déjà dans l'antiquité, est depuis longtemps considérée par l'Italie comme présentant un intérêt national. Longtemps le gouvernement a exploité ces gisements lui-même. Depuis 1899, les minerais de l'île d'Elbe ont été affermés pour vingt-cinq ans à une Société privée. D'après le contrat, rédigé de manière à provoquer la création d'une usine nationale, le droit à payer est de 0,50 fr. par tonne de minerai traitée sur place contre 7,50 fr. par tonne de minerai exportée. Il faut ajouter le droit d'entrée de 8 à 10 fr. sur les fontes étrangères, qui constitue pour l'usine un tarif protecteur. En concédant ces 250 000 t. par an pour vingt-cinq ans, on avait cru épuiser le gisement; les découvertes nouvelles, amenées par un commencement d'exploitation rationnelle, ont montré qu'on serait probablement loin d'arriver à cet épuisement au terme de la concession. Cette production de 250 000 t. est réalisée, en 220 à 230 jours de travail, par 1 400 mineurs, plus les ouvriers de l'embarquement et les marins, payés 4 à 5 fr. par jour. Une flotille de bateaux à voile avec 3 remorqueurs fait le transport des divers chantiers à Porto-Ferrajo. Le charbon vient d'Angleterre; mais la transformation en coke a lieu sur place avec utilisation des sous-produits.

En 1904, l'île d'Elbe a produit 398 000 t. de minerai, dont 190 000 t. ont été transportées à Porto-Ferrajo, 12 000 à Follonica et 13 000 seulement exportées à l'étranger (le reste a été laissé sur les mines.) La mine Giove à Rio Albano a contribué pour 112 000 t., celle de Calamita pour 74 000 t., celle de Rio (Rosseto) pour 63 000 t. En 1910 la production a monté à 532 000 t., dont 510 000 exportées. Rio a contribué pour 167 000 t.; et les trois groupes de Rio Albano, Calamita, Giove, chacun pour 110 000 t.

Une usine comprenant quatre hauts fourneaux fonctionne à Porto-Ferrajo[1]. De plus, la Société Ilva a créé, en 1910, près de Naples, une grande usine, destinée à traiter 200 000 t. de minerais de l'île d'Elbe.

12° LA TOLFA, COMITAT D'HUNYAD, GRANDE-VALLÉE, ETC.

La Tolfa. — D'autres parties de l'Italie Centrale mettent en évidence les phénomènes de substitution, auxquels nous venons d'attribuer les gisements de l'île d'Elbe et leur rapport avec des manifestations filoniennes pyriteuses, dont l'altération a donné lieu, au milieu des calcaires, à des amas de sesquioxyde de fer. On en trouve, par exemple, une série qui s'étend au S. W. des mines d'alunite de la Tolfa dans la direction de Civita Vecchia, presque jusqu'à la source thermale classique des Bains de Trajan.

[1] Elle a été décrite dans: Scientific American du 4 févr. 1905; Zeits. d. Ver. d. Ing. 24 oct. 1903 et 7 nov. 1903); La Nature, 10 mars 1906.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les principaux parmi ces amas, ceux de Roccaccia, Pian Ceraso, Edificio del Ferro, etc., sont, par un phénomène déjà rencontré maintes

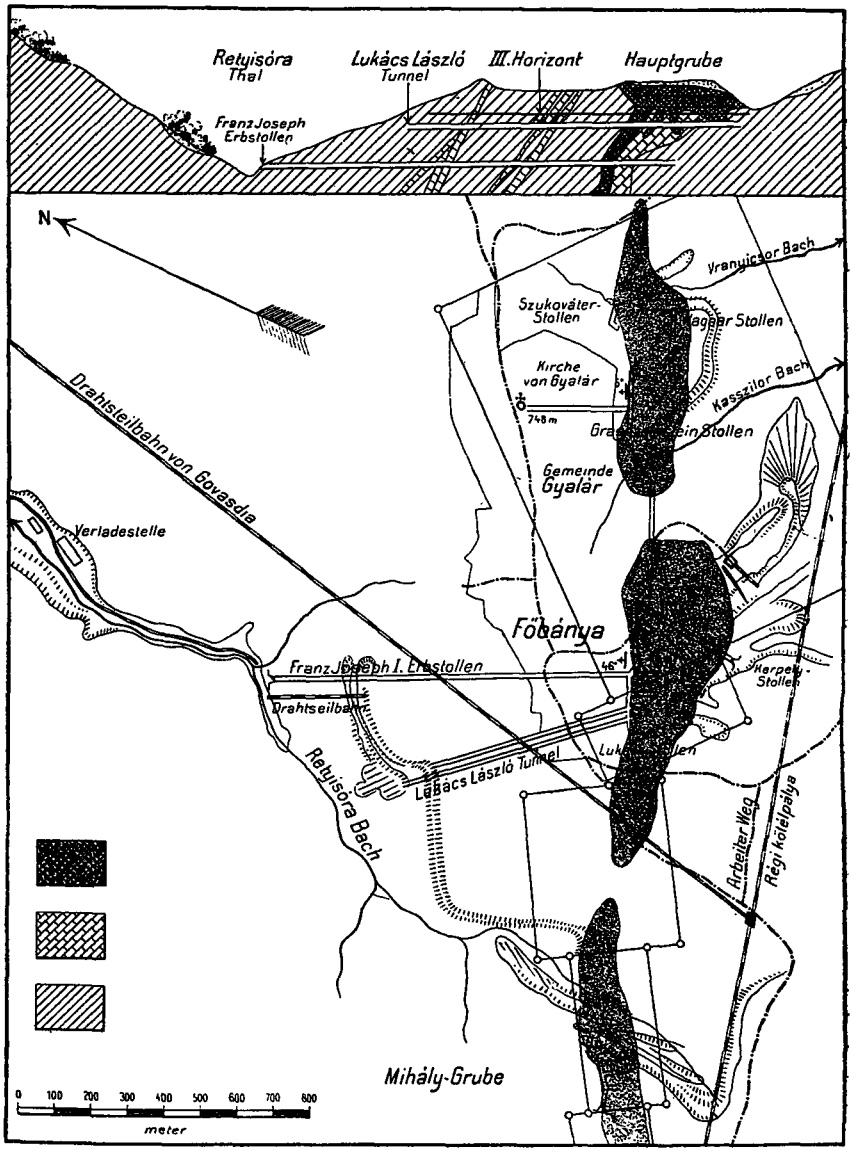


Fig. 226. — Carte du district ferrifère de Vadja Hudyad, d'après Iron Ore Resources.

fois dans cette étude, concentrés au contact de calcaires et de schistes altérés par les actions superficielles. Ils étaient formés, à l'affleurement, de limonite et d'hématite visiblement substituées au calcaire ; en s'en-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fonçant, on y a trouvé de la pyrite. Parfois, un peu de phosphate de fer semblait correspondre à une teneur initiale des calcaires en phosphore [1].

Comitat d'Hunyad (Hongrie)[2]. — Le comitat d'Hunyad, entre le Maros et les Alpes de Transylvanie, renferme quelques beaux gisements de substitution, dont le principal, exploité depuis la plus haute antiquité, se prolonge à l'Ouest de Vajda Hunyad vers Gyalar et Ruszkica, sur 40 km. de long (fig. 226). Son exploitation a été reprise depuis une cinquantaine d'années et surtout depuis 1900. A Gyalar, on a, dans des calcaires dolomitisés qui reposent sur des schistes cristallins, un amas principal largement épanoui au voisinage du jour, dont la puissance atteint 150 m. et la hauteur reconnue 220 m. Trois lentilles se succèdent là sur 2,5 km. de long.

On a attiré l'attention sur la présence de grains de magnétite et, ailleurs, de graphite en certains points de la sidérite.

Grande Vallée (Etats-Unis)[3]. — On trouve des limonites de quelque importance dans le siluro-cambrien du Massachusetts, de New-York, du Connecticut, de la Pennsylvanie (vallée de Lehigh), de la Virginie SW où ils sont particulièrement développés, de Chattanooga (Tennesee) et enfin de l'Alabama. Ce sont les gisements, dits de la *Grande Vallée*, sur le versant Est des Alleghany. D'après Kemp, il y a eu substitution à des calcaires dolomitisés (ou parfois à des schistes) qui peuvent former une des parois. Dans ces conditions on a souvent de la sidérite et le manganèse peut se développer. Exceptionnellement, on a trouvé, en même temps, un peu de cobalt à Chester Ridge.

O. — GISEMENTS SÉDIMENTAIRES MARINS

Généralités. — La série des terrains sédimentaires marins contient, depuis les étages les plus anciens jusqu'aux dépôts des mers actuelles, qui nous offriront des points de comparaison intéressants, un grand nombre de niveaux ferrugineux pouvant constituer de véritables minerais et dont quelques-uns existent développés sur des étendues considérables. Ces minerais de fer, qui présentent entre eux, quel que soit leur âge, d'assez nombreux caractères communs, ont été parfois considérés comme uniformément dus à une substitution ultérieure du fer dans des calcaires oolithiques. Nous discuterons plus loin cette théorie. Quelle que soit l'opinion admise à ce sujet, nous nous proposons, dans ce chapitre, de classer les divers sédiments ferrugineux marins dans l'ordre de leur âge apparent : l'âge géologique ainsi entendu étant celui de l'étage sédimentaire où le minerai s'intercale, quel que soit d'ailleurs le moment réel où cette intercalation s'est produite, contemporaine ou postérieure.

Une telle réserve, qui, d'après l'observation précédente, s'applique aux minerais de tous les âges, est particulièrement nécessaire pour les minerais associés aux terrains cristallophylliens qui vont être étudiés en premier lieu. Pour ceux-ci, en effet, on n'a pas seulement à faire la restriction

[1] L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 226.
[2] Gisement visité en 1883. — *Iron ore Resources*, p. 249.
[3] Kemp. *Ore deposits of the United States*, p. 79 à 82, avec bibl.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

très générale qui vient d'être indiquée ; mais on peut se demander parfois si l'on n'est pas en présence d'une véritable substitution filonienne à allure locale de filon-couche. La conception reste toutefois trop hypothétique pour pouvoir servir de base à un classement.

Nous venons de dire que tous les sédiments ferrugineux marins présentaient, avec certaines différences qui attirent d'abord l'attention, un grand nombre de caractères communs. Ces caractères doivent être d'abord mis en lumière afin d'appuyer sur eux une tentative d'interprétation générale.

Nature minéralogique et composition chimique des sédiments ferrugineux. Rôle des organismes. — Si l'on se borne d'abord à considérer la forme pratique sous laquelle les minerais se présentent dans les exploitations, on peut dire, en moyenne que les minerais encaissés dans les terrains archéens sont formés d'oligiste et de magnétite cristallisés. Ceux des terrains primaires ont tantôt subi une cristallisation analogue et tantôt sont restés à l'état d'hématite rouge plus terreuse, avec une proportion généralement faible de sidérite et de chlorite. Par exception, ceux du houiller, dont le mode de dépôt est spécial, lacustre ou saumâtre, sont demeurés pour la plupart en carbonates. Ceux des terrains secondaires sont, partie en hématite rouge, partie en hématite brune, avec un peu de carbonate ayant une tendance à croître en profondeur. Ceux du tertiaire sont surtout en hématite brune.

D'autre part, on trouve très fréquemment, dans les sédiments, réputés ou non ferrugineux, des silicates tels que les glauconies et les chlorites, dans la composition desquels entre une proportion notable de fer.

En résumé, les minerais de fer sédimentaires, sous leur forme actuelle, présentent des sels de fer divers, dont les principaux sont l'hématite rouge et l'hématite brune, la martite, la magnétite, la pyrite, la sidérite et le groupe des glauconies ou des chlorites, tels que la bavalite, la chamosite, etc., sur lesquels nous aurons à revenir.

Mais cette classification pratique perd toute valeur si on cherche l'origine première des sédiments ferrugineux.

On peut alors remarquer que les oxydes, malgré leur rôle pratiquement prédominant, n'y sont à peu près certainement partout que le résultat d'une modification secondaire ayant porté sur de la sidérite ou de la chlorite : probablement surtout sur la sidérite d'après des observations qui tendent à montrer la chlorite se développant aux dépens de la sidérite en train de disparaître [1]. Nous avons déjà parlé de ce fait en étudiant le cycle du fer [2]. L'altération, qui a transformé le carbonate en chlorite, puis

[1] Le fer, dissous par l'acide carbonique ou les acides organiques, peut être précipité par deux réactions principales : la peroxydation, qui agit surtout dans les réactions superficielles, puisqu'elle exige la présence de l'oxygène en excès, et le dégagement de l'acide carbonique, qui paraît avoir joué un rôle beaucoup plus important dans les phénomènes de grande extension géologique. Le sulfate de fer est précipité par réduction en présence des matières organiques, des hydrocarbures, etc., à l'état de sulfure de fer. Mais la pyrite ne joue dans les sédiments qu'un rôle très subordonné et souvent dû à des réactions secondaires.

[2] Voir, à ce sujet, l'étude faite plus haut p. 285 à 291 et le cycle des transformations représenté par la fig. 187, p. 286.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

en hématite ou en magnétite, n'a guère pris cette dernière forme que lorsque le métamorphisme est intervenu. On arrive alors à des facies, comme ceux des minerais scandinaves, qui semblent très dissemblables des minerais toarciens de Meurthe-et-Moselle, et pour lesquels, dès lors, on a pu proposer des interprétations toutes différentes, mais qui, suivant toutes vraisemblances, ont pourtant une même origine, comme le laisse, par exemple, supposer l'aspect analogue et également cristallin des minerais de Diélette, où l'on retrouve des traces d'oolithes. Nous admettrons donc uniformément, pour les sédiments ferrugineux, un dépôt primitivement effectué sous la forme de sels protoxydés, d'où les peroxydes, plus stables dans les conditions superficielles ordinaires, seraient postérieurement résultés par peroxydation. Cette forme protoxydée implique un dépôt effectué à l'abri de l'air : ce qui est naturel pour un sédiment marin.

Un second point à noter dans la composition de ces minerais est qu'ils ont dû primitivement contenir tous une proportion assez notable de calcaire, qui ensuite a diminué progressivement par l'effet de toutes les altérations secondaires ou métasomatoses : celles-ci ayant toujours pour effet d'éliminer la chaux et d'introduire de la silice [1]. Ainsi se sont constitués des minerais anciens, aujourd'hui exempts de chaux, qui sont des quartzites plus ou moins chloriteux à oligiste et à magnétite. Ce calcaire, associé d'abord aux minerais de fer, a dû, comme la grande majorité, sinon la totalité des calcaires marins, avoir une origine organisée, sauf à avoir subi, par dissolution et reprécipitation dans des eaux agitées analogues à celles qui entourent les atolls coralliens, une concentration oolithique. Souvent on retrouve encore, dans les minerais de fer, ces organismes conservés à l'état de calcaire ou transformés eux-mêmes en sidérite, chlorite ou hématite. L'abondance extrême des restes organisés dans certains sédiments ferrugineux ou dans les bancs immédiatement associés est un fait tellement évident, quand il s'agit de certains minerais secondaires ou tertiaires, qu'il n'a besoin d'aucune démonstration. Il suffit de visiter une mine de Meurthe-et-Moselle, de fouiller les haldes des anciennes exploitations de fer de la Nièvre bien connues par les paléontologues, d'examiner les lumachelles de coquillages associées aux minerais pontiens de Kertch pour se convaincre, indépendamment de tout examen microscopique, que l'abondance des organismes dans les minerais de fer est un des points à expliquer dans leur théorie et que, par conséquent, ces minerais (ou les matériaux devenus plus tard des minerais), ont dû se déposer dans des eaux, dont la teneur générale en fer n'était pas susceptible d'empêcher la vie. Peu à peu, ces observations ont pu être étendues, par un examen plus minutieux, à beaucoup d'autres minerais primaires, pour lesquels l'existence des organismes n'était pas aussi nette à première vue : d'abord pour ceux de Clinton aux États-Unis qui ont été appelés depuis longtemps par les mineurs le « fossil ore », puis pour les minerais dévoniens de Belgique, des Côtes-du-Nord, et même pour les minerais huroniens du Lac Supérieur, etc. On peut aujourd'hui admettre

[1] Dans les minerais siluriens de Normandie, la distribution verticale de la chaux n'est régie par aucune loi analogue à celle qui existe pour la silice; ce qui prouve simplement que son élimination est antérieure à la constitution du niveau hydrostatique actuel.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

par extension, avec beaucoup de vraisemblance, que, là où ces organismes n'apparaissent pas dans des terrains primaires, c'est parce que le métamorphisme en a éliminé les traces.

L'existence de ces fossiles, brachiopodes, mollusques, crinoïdes, algues, etc., concorde assez bien avec le facies argilo-calcaire, ou calcaréo-vaseux, qui semble avoir été généralement celui des mers où les minerais de fer se sont constitués. La plupart des sédiments ferrugineux passent latéralement à des marnes ferrifères ou à des calcaires légèrement ferrugineux. Ils sont encaissés d'ordinaire dans des séries schisteuses ou calcaires, rarement au contact de grès (si on fait exception des bancs silicifiés par après coup qui ont donné des quartzites). Dans leur constitution même, les éléments clastiques un peu volumineux et durs, comme des grains de quartz, sont assez rares. On était donc dans des conditions de dépôt où les coquilles pouvaient se déposer simultanément et se conserver sans être détruites, ainsi que cela leur arrive d'ordinaire dans les conditions littorales troublées où se forment les sables et les grès. Ce n'étaient pas les grandes profondeurs des mers, mais ce n'étaient pas non plus les conditions littorales, comme suffirait à le prouver la seule largeur d'un bassin, tel que celui de Meurthe-et-Moselle qui, sur 20 km. transversalement à la direction présumée de la côte, reste comparable à lui-même.

Un autre fait résultant de la présence ancienne des organismes est l'existence du phosphore, qui est généralement en quantités abondantes dans les sédiments ferrifères et particulièrement dans ceux où les coquillages semblent eux-mêmes avoir été abondants. Le phosphore, on assiste en quelque sorte à son introduction dans certains minerais récents comme les minerais pontiens de Crimée, où il a abouti à former des cristaux de vivianite dans les coquilles. Cependant, lorsqu'on a affaire aux minerais cristallophylliens de métamorphisme, tels que ceux de Scandinavie étudiés un peu plus loin, il semble qu'une autre cause ait pu introduire du phosphore, à savoir l'action métamorphisante des granulites, souvent très riches en apatite[1]. Une fois associé au fer, le phosphore a contribué à conserver une faible teneur en chaux dans les minerais. La façon dont le phosphate de chaux, tout en se dissolvant en présence de l'acide carbonique, tend à se reprécipiter sur certains points de concentration à la façon de la silice ou de la pyrite de fer, a pu même développer du phosphate de chaux secondaire.

Les autres éléments chimiques qui interviennent dans la composition normale des minerais s'expliquent également sans peine, ainsi que nous l'avons vu dans un paragraphe antérieur[2]. L'alumine est apportée par l'argile, qui, en proportions variables, pouvait exister en suspension dans l'eau de mer au moment de la précipitation. Il est possible qu'elle ait commencé par se déposer sous la forme d'un silicate basique analogue à la glauconie.

Le titane, de même, est un élément constant des argiles, où il a dû d'abord être apporté par la destruction des minerais de fer titanés, tels

[1] Voir la discussion de cette question plus haut, t. 2, p. 293.

[2] Tome 2, p. 291 à 305.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que les titano-magnétites, et son association en faibles quantités avec le fer est toute naturelle.

Enfin, la silicification est le fait général et constant, ayant presque seul pour résultat d'amener les sédiments à leur forme stable. Quand on étudie d'un peu près un sédiment ferrugineux, on y voit des traces de silicification pouvant remonter à toutes les époques : les unes presque immédiatement contemporaines du dépôt et antérieures notamment à la déformation des oolithes ; les autres subissant une loi de diminution avec la profondeur, qui les rattache directement à la superficie actuelle, ou englobant toutes les phases de l'évolution des composés ferrugineux jusqu'aux plus récentes.

La proportion de la sidérite, de la chlorite et de l'hématite rouge semble, contrairement à ce que l'on a dit, à Ferrières-aux-Etangs comme en Meurthe-et-Moselle, indépendante de la surface actuelle et du niveau hydrostatique actuel : ce qui impliquerait, si le fait était bien prouvé, une action anciennement terminée (chose d'ailleurs assez vraisemblable). Au contraire, la silicification et l'hydratation se continuent encore. Il semble y avoir, d'autre part, dans le même gîte, certaines modifications dans le sens de la sédimentation, donc antérieures au plissement. Les minerais hématisés (rouges) ou chloriteux (noirs) s'ordonnent par bancs parallèles : c'est-à-dire que la nature de ces minerais aurait été conditionnée avant le plissement (peut-être presque aussitôt après le dépôt?), mais plutôt par la réaction secondaire que par sédimentation même.

Nous remontons ainsi avec beaucoup de vraisemblance jusqu'à des calcaires ferrifères à restes organisés qui ont dû être l'origine de nos minerais actuels et l'on peut ajouter que la teneur en fer de ceux-ci a dû être au début très inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui, puisqu'un grand nombre des réactions de la métasomatose ont pour effet d'accroître la teneur en fer comme la teneur en alumine et en silice, ne fut-ce que relativement, par élimination progressive de la chaux. Comme la teneur en fer de certains niveaux particulièrement développés, tels que ceux de Meurthe-et-Moselle, n'est pas bien élevée (à peine 8 ou 10 fois, dans ce cas, la teneur moyenne des roches), il n'est pas nécessaire que les terrains d'où dérivent les minerais de fer aient eu, à l'origine, une teneur très exceptionnelle.

Structure des sédiments ferrifères. Types oolithiques. — Quand on fait abstraction des modifications produites sur les minerais de fer sédimentaires par les altérations postérieures de tous genres, on arrive fréquemment à constater que leur forme primitive a été oolithique.

Le fait est très loin d'affecter un caractère de généralité, et l'on connaît même quelques sédiments ferrifères, réputés oolithiques d'après leur première apparence extérieure, qui, en réalité, sont simplement grenus et doivent cette structure grenue à des accumulations de débris organisés. Cependant le fait d'une formation oolithique est assez fréquent dans toute l'échelle sédimentaire, aussi bien pour le silurien de Normandie et de Bohême ou des Etats-Unis que pour le toarcien de Lorraine. Il joue un rôle assez important dans les sédiments ferrifères pour qu'il faille en tenir compte dans les théories et insister ici sur ses caractères.

Si l'on suppose d'abord que les minerais ont été, dès le début, constitués

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

par des sels de fer, comme cela semble tout au moins bien vraisemblable dans le cas des minerais en grains type Berry, il y a lieu de se demander quelles ont été les conditions propices au développement des oolithes ou des pisolithes. Dans l'hypothèse contraire, il faudrait encore expliquer la prédilection singulière d'une substitution, réputée postérieure, pour les calcaires oolithiques.

Autant que nous pouvons le savoir, la forme concrétionnée sphérique qui aboutit à la structure des oolithes est assez facilement prise par les sels de fer, comme par le carbonate de chaux et correspond à la forme noduleuse que prennent de même le bioxyde de manganèse ou le phosphate de chaux, aux concrétions rayonnées qui représentent la même tendance sphérique pour la marcassite, aux rognons de silex, à la disposition globulaire de l'alumine dans la bauxite, etc., etc.

Il y a ainsi un grand nombre de corps qui tendent pratiquement à se déposer par zones successives autour d'un centre d'attraction quelconque, et l'on pourrait même dire que, théoriquement, c'est la loi générale des cristallisations lentes.

C'est ainsi que l'on a pu constater le développement d'oolithes très fines à l'intérieur de certains ossements, où les réactions avaient dû nécessairement se passer avec calme et lenteur. Mais cette condition n'est nullement nécessaire. On trouve, d'autre part, des oolithes ou pisolithes calcaires dans les fentes de certains filons, dans les vasques de certaines rivières souterraines, autour des atolls coralliens[1]. Dans le cas des sédiments ferrugineux, divers caractères semblent prouver un dépôt d'eaux agitées.

En moyenne, les oolithes ferrugineuses ont pour centre un nucleus généralement quartzeux, qui a fait considérer leur dépôt comme s'étant effectué en eaux peu profondes autour d'éléments élastiques terrigènes. Pour Cayeux, ce quartz des nucleus est, au contraire, en grande partie secondaire et l'on constate, suivant lui, sa substitution à de la sidérite ou à de la chlorite.

Autour de ce nucleus, l'oolithe présente un résidu en proportion variable de sidérite et d'une chlorite que l'on a appelée chamosite, thuringite, bavalite, berthiérine, etc. Ces oolithes sont souvent disloquées, ce qui montre qu'elles ont été roulées par les courants.

Elles ont subi, d'autre part, un aplatissement, qui accuse l'intervention d'efforts dynamiques et de compressions.

Puis les oolithes, à leur tour, se sont accumulées en quantités plus ou moins fortes, se sont tassées les unes contre les autres par l'effet des courants et elles se sont trouvées reliées par un ciment, dont la nature et la proportion variables contribuent beaucoup à modifier la qualité des minerais. Ce ciment, dans lequel on retrouve les mêmes éléments ferrugineux que dans l'oolithe, généralement à un degré d'altération moins avancé, renferme, en outre, du carbonate de chaux, de l'alumine, de la silice, qui modifient la composition moyenne du minerai.

Allure stratigraphique des sédiments ferrugineux. — Les niveaux fer-

[1] Nous avons décrit plus haut en Asie russe, à Nikolaievsk, près de l'Angara et dans le bassin de la Touba, des veines de magnétite à structure oolithique (p. 339).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rugineux se présentent dans les séries stratigraphiques locales, exactement comme les autres sédiments que cette série peut contenir : argiles, sables, calcaires, etc... Le soin, avec lequel les considérations pratiques les ont fait étudier, a particulièrement amené à connaître leur distribution, leurs étirements lenticulaires, leurs passages latéraux à des terrains stériles, etc.

Nous avons déjà remarqué qu'ils s'associent rarement à des grès, plus souvent à des schistes, à des marnes ou à des calcaires marneux, quoique les minerais siluriens de Normandie succèdent presque sans interruption aux grès armoricains et que les minerais de l'Anjou semblent intercalés dans ceux-ci. L'on peut avoir des coupes, où plusieurs lentilles allongées chevauchent les unes sur les autres.

La coupe verticale schématique ci-jointe des minerais du Luxembourg,

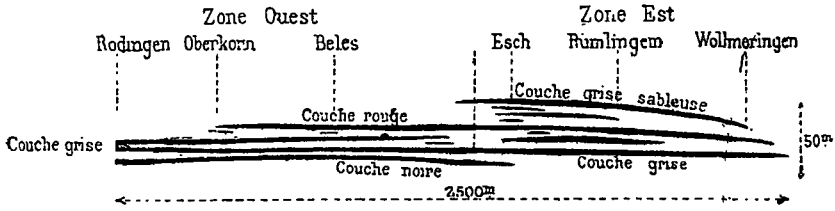


Fig. 227. — Coupe verticale schématique des gisements de minerai de fer du Luxembourg, d'après Van Werveke.

d'après Van Werveke, fig. 227, illustre bien cette disposition, qui paraît avoir correspondu à des phases successives de sédimentation, dans lesquelles s'étaient produits des déplacements de courants. On ne trouve pas toujours des couches aussi nombreuses que dans cette coupe; mais, comme je l'ai fait remarquer autrefois, il suffit de placer cette série de terrains, verticalement comme le sont tous les terrains de Scandinavie et de leur imprimer quelques plissements et froissements pour obtenir le plan ordinaire des minerais scandinaves étudiés un peu plus loin [1].

Distribution stratigraphique des minerais de fer. — On peut ajouter quelques observations très générales sur la répartition des sédiments ferrifères dans le temps et dans l'espace : observations pouvant éclaircir leur origine [2].

Tout d'abord dans le temps, il suffit d'examiner la liste donnée plus loin des grands gisements de fer sédimentaires, en négligeant les formations trop restreintes qui n'ont pas pu être utilisées pratiquement, pour se rendre compte que certaines époques ont été, dans un ensemble de régions déterminé, souvent très étendu, favorables à la formation des minerais de fer, tandis que d'autres cessaient de l'être. Ces époques favorables peuvent changer d'un continent à l'autre, ou, pour employer un terme qui correspond mieux à l'origine probable du phénomène, d'une

[1] Voir la figure 229, p. 427.

[2] Voir la *Science géologique*, ch. XIV.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

zone plissée à une autre zone plissée. La loi est évidente quand on se borne à une zone tectonique bien caractérisée. Par exemple, le long des anciennes chaînes calédoniennes. dans les Asturies, la Bretagne, le Pays de Galles, l'Ardenne, la Belgique, le Harz, nous trouverons des minerais primaires. Puis,les minerais jurassiques dessinent des zones parallèles au massif Central, aux Vosges, aux massifs hercyniens d'Allemagne. En France, les minerais de fer marins disparaissent avec l'infracrétacé; mais on retrouve, en Bavière, en Crimée, des minerais tertiaires dans la zone alpestre, etc. Il s'est donc produit, à certaines époques, une accumulation spéciale de fer dans les bassins de sédimentation et, comme nous ne croyons plus guère aux sources thermales filoniennes déversant des métaux dans leurs vasques extérieures, il est permis d'en chercher l'origine dans la destruction des chaînes montagneuses antérieurement plissées et dans le remaniement des roches ferrugineuses connexes.

Si l'on prend un niveau déterminé, on observe également que certains étages géologiques sont, dans un grand nombre de pays, favorables à la concentration du fer. Il suffit de citer l'étage silurien. Cette seule observation nous semble contraire à l'idée d'une introduction ferrugineuse effectuée longtemps après par apport extérieur. Il faut, pour que le silurien, par exemple, soit si fréquemment ferrifère, qu'il y ait eu, à cette époque même, des conditions particulièrement favorables à la production des minerais de fer et que ces conditions aient pu exercer un effet immédiat.

Cela est, il me semble, particulièrement manifeste quand, comme dans le cas des minerais lorrains, on a une série de couches ferrugineuses superposées dans un ensemble stratigraphique uniforme sans aucune manifestation filonienne apparente. La période de temps, où cette série stratigraphique s'est déposée, semble avoir dû être aussi celle où le fer, pour une raison quelconque, s'y est accumulé.

Origine des sédiments ferrugineux. — Nous sommes ainsi amenés à discuter le point le plus obscur et le plus controversé dans la théorie des minerais de fer : à savoir l'époque où le fer a été introduit dans les sédiments qui constituent aujourd'hui nos minerais et la manière dont cette introduction s'est faite.

Si l'on se borne aux apparences premières, le problème ne se pose même pas, ou se borne à une interprétation de détail. Les sédiments ferrugineux paraissent des sédiments comme les autres, déposés après leur mur et avant leur toit et présentant toutes les variations latérales, avec la disposition, lenticulaire dans l'ensemble, des autres sédiments. Par contre, il a suffi à certains observateurs de constater, dans les minerais de fer, des cas incontestables de substitution à des calcaires pour en déduire un peu trop vite que tout le minerai résultait d'une telle substitution, sur l'âge de laquelle on a émis ensuite les opinions les plus diverses. Nous croyons la question beaucoup plus difficile et beaucoup plus discutable.

La difficulté primordiale qu'elle présente tient à ce que, nulle part, on ne voit se former sous nos yeux quelque chose d'analogue aux sédiments ferrifères marins. Les quelques dépôts actuels, dont nous dirons un mot en terminant, sont vraiment trop peu de chose pour être comparés par exemple aux minerais de Lorraine. Il faut donc : soit que, par suite de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

l'évolution terrestre, notre époque ne présente plus les conditions nécessaires à cette formation ; soit que ces conditions n'aient jamais été réalisées, mais aient été remplacées par un phénomène d'origine interne, ou par une modification métamorphique ultérieure. C'est la seconde idée qui a conduit divers géologues américains, allemands et français (Stanislas Meunier, Cayeux, etc.) à supposer la transformation ultérieure de sédiments oolithiques calcaires en sédiment oolithiques ferrugineux.

On remarquera cependant que la première supposition n'a en elle-même rien d'absurde, surtout si l'on songe combien, dans l'histoire géologique de notre pays, les étages ferrifères sont localisés et séparés par de longues lacunes, pendant lesquelles il ne s'est produit rien de semblable, malgré la variété des facies littoraux, néritiques, bathyaux, abyssiques, représentés dans ces phases intermédiaires où les minerais de fer font défaut.

Si l'on reprend les faits d'observation à partir du point où il faut les abandonner pour entrer dans l'hypothèse, on voit que l'argumentation des partisans d'une substitution ultérieure a pour argument principal et presque unique l'existence certaine de fossiles calcaires, d'oolithes calcaires et parfois de véritables bancs calcaires organisés, qui se sont trouvés transformés après coup en sidérite. L'argument nous semble beaucoup moins convaincant qu'il ne paraît à première vue. On sait, en effet, avec quelle facilité les sels de fer sont remis en mouvement et font la tache d'huile. D'autre part, des coupes, comme celles que présentent les minerais pontiens de Kertch, accusent l'existence de lumachelles restées entièrement calcaires au contact de sédiments ferrugineux. Il est infiniment vraisemblable, quelle que soit, dans ce dernier cas, l'origine des bancs ferrugineux eux-mêmes, que, si on laissait aux métasomatoses le temps de s'effectuer, on retrouverait un jour ces bancs de lumachelles transformés en minerai de fer aux dépens de la couche voisine, avec élimination plus ou moins complète du calcaire : d'où on aurait, on le voit, grand tort de conclure que le minerai juxtaposé a eu, simultanément, la même origine

Mais supposons cependant la généralité de cette substitution postérieure et cherchons à quelle époque elle se serait produite, où elle aurait pris son fer.

Si la substitution était d'origine filonienne et postérieure de beaucoup au dépôt comme on le suppose dans les théories où on supprime toute relation entre la sédimentation des oolithes calcaires et leur ferruginisation postérieure, on ne s'expliquerait pas ces couches ferrugineuses si constamment localisées sur un même niveau géologique, surtout avec contact (comme dans le minerai de Kertch), de lumachelles demeurées calcaires, ou, comme ailleurs, de calcaires oolithiques qui auraient été tout aussi aptes à recueillir le fer. L'extension des sédiments ferrifères sur une province entière[1] avec une disposition des enrichissements par taches, comme c'est le cas en Lorraine, ne s'explique pas non plus par des filons

[1] Si l'on cherche à se représenter l'étendue géographique du bassin ferrifère lorrain en le supposant placé sur quelque portion bien connue de nos côtes, on voit qu'il peut avoir environ 10 km. sur 20 (200.000 hectares de terrains exploitables). Il tiendrait ainsi dans le fond du golfe formé par la baie de Saint-Brieuc et la baie du mont Saint-Michel, ou encore dans la baie de la Seine du Havre à Carantan, ou enfin dans les baies qui entourent l'estuaire de la Loire de Quiberon à Noirmoutiers jusqu'à la ligne de niveau de 20 m.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dont on n'a jamais vu aucune trace, malgré la tentative faite par Fr. Villain pour les reconnaître dans les failles nourricières.

D'autre part, si l'on songe à invoquer l'introduction du fer par voie descendante, comme elle se produit dans les réactions continentales, longuement étudiées un peu plus loin[1], il est à noter que les niveaux ferrifères ne semblent pas, en général, marquer un arrêt dans la sédimentation, une lacune susceptible d'avoir pu faire intervenir de telles réactions continentales. Quelques cas, signalés dans un paragraphe suivant, où un tel phénomène se manifeste, comme les minerais du sinien Chinois ou ceux du jura franconien, en tirent un faciès caractéristique et aussitôt reconnaissable. Par contre, dans un cas comme celui de nos minerais normands ou lorrains, qui constituent les deux types les plus faciles à étudier pour nous, on est presque nécessairement amené à éliminer l'idée d'une introduction ferrugineuse descendante reportée à une époque beaucoup plus récente, ou du moins à restreindre celle-ci à un enrichissement par métasomatose.

Nous croyons, en résumé, que, si le fer n'a pas été contemporain à strictement parler du dépôt, il lui a été du moins très peu postérieur. Cayeux a montré, par exemple, que les oolithes de sidérite dans le silurien de Normandie avaient dû subir la silicification qui leur a constitué un nucleus quartzeux alors qu'elles étaient encore plastiques et avant l'action dynamique qui les a comprimées les unes contre les autres. La formation de la sidérite semble bien avoir été, elle aussi, antérieure à ce déplacement. On arrive ainsi à l'idée que, si, par exemple, les oolithes n'ont pas été au début de la sidérite (ce qui reste parfaitement possible), elles ont dû, après s'être accumulées sous l'action des courants en certains points d'élection, subir presque aussitôt leur transformation, avant d'avoir été recouvertes par une épaisseur notable de sédiments postérieurs, et alors que les eaux marines sous pression pouvaient encore y pénétrer. Ce serait donc simplement un second épisode de la même période sédimentaire plutôt qu'une manifestation réellement postérieure[2].

Dans ce qui vient d'être dit, nous avons apporté des restrictions et objections à l'hypothèse qui attribue uniformément une origine ultérieure et par substitution aux minerais de fer sédimentaires. Nous sommes cependant très loin de nier l'existence de ces substitutions et nous leur attribuons, au contraire, une très grande importance, mais en les restreignant souvent, dans les cas précédents, à des remises en mouvement. Il est, au contraire, ainsi que nous l'avons précédemment vu en détail, bien des gisements pour lesquels nous admettons le rôle prépondérant des substitutions ultérieures, contrairement à la théorie habituelle qui y voit des sédiments. Cette réaction nous paraît claire pour le groupe de gisements qui vient d'être décrit sous ce titre dans le paragraphe précédent et, généralement, pour les minerais de fer en amas dans des calcaires massifs[3]. Nous laisserons seulement, jusqu'à nouvel ordre, parmi les sédiments, quelques cas douteux, tels que certains minerais allemands du Nassau, du Harz, etc., où se présente un rapprochement des minerais de fer avec des

[1] Tome 2, page 505.
[2] Voir à ce sujet, dans les généralités du début, tome 1, p. 206.
[3] Voir tome 2, pages 364 à 410.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

diabases. En présence de ces gisements, on a cherché une explication dans la présence de sels ferreux, émanés des éruptions diabasiques sous-marines, qui auraient été répandus dans la mer et ultérieurement précipités par une teneur croissante en carbonate de chaux. Cela suppose : d'abord, de réelles éruptions sous-marines, qui sont parmi ces phénomènes commodes à invoquer, au sujet desquels il est, dans chaque cas particulier, permis de témoigner quelque scepticisme, et d'autre part, une formation des calcaires par voie de précipitation chimique, alors que l'intervention des organismes semble presque toujours tellement plus vraisemblable.

Ordre adopté dans les descriptions. — Nous suivrons, dans les descriptions des sédiments marins, l'ordre suivant :

Archéen et précambrien. — Scandinavie. — Finlande. — Mokta-el-Hadid. — Krivoï-rog. — Lac Supérieur. — Brésil. — Afrique Centrale. — Indes.
Silurien. — Asturies. — Andalousie. — Segré (Maine-et-Loire). — Basse-Normandie. — Pays de Galles. — Dunderlandsdal (Norvège). — Thuringer-Wald. — Nucic (Bohême). — San-Léone (Sardaigne). — Clinton, etc.
Dévonien. — Dielette — Ardennes. — Hesse. — Asturies. — Terre-Neuve.
Carbonifère. — France. — Bassin de la Ruhr. — Silésie, etc.
Trias. — Ardèche.
Hettangien. — Thostes et Beauregard (Côte-d'Or). — Mazenay et Change (Saône-et-Loire).
Toarcien. — Lorraine et Luxembourg.
Charmouthien. — Cleveland.
Bajocien. — Izenay (Nièvre). — Mondalazac (Aveyron). — Privas (Gard).
Callovien. — La Voulte (Ardèche). — Chamoson.
Oxfordien. — Neuvisy.
Barrémien. — Wassy. — Champage. — Salzgitter et Ilsede.
Cénomanien. — Ocres de Bourgogne.
Eocène. — Bavière.
Pliocène. — Kertch (Crimée).
Dépôts actuels de silicates de fer dans la mer.

I. — MINERAIS INTERSTRATIFIÉS DES TERRAINS CRISTALLOPHYLLIENS

Caractères généraux. — Les terrains à facies cristallophyllien des plates-formes primitives présentent une abondance toute spéciale en minerais de fer, qui peut tenir aux conditions de leur formation ou à celles de leur métamorphisme. Parmi ces minerais, on doit d'abord mettre à part toute une catégorie de gisements de ségrégation liés aux roches cristallines, que nous avons étudiés antérieurement[1]. Il reste alors un ensemble très développé de gisements interstratifiés présentant ce caractère commun d'être disposés en chapelets d'amas lenticulaires par séries parallèles dans certains districts privilégiés. Ces minerais interstratifiés ont-ils tous une même origine, il est, dans l'état de métamorphisme où ils se présentent à nous, presque impossible de le

[1] Voir p. 310 à 324, sur Taberg, Routivara, Kirunavara, etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dire et nous serions même tenté de croire le contraire. Quelle que soit cette origine primitive, leur allure actuelle leur a été, avant tout, imprimée par le retour en profondeur effectué dans une chaîne plissée, sous de grandes épaisseurs de terrains charriés; et ce métamorphisme commun leur a imprimé un air de famille, qui rend leurs différences primitives mal appréciables. Il ne semble pas douteux qu'un très grand nombre d'entre eux proviennent d'anciens sédiments ferrugineux, analogues à ceux que nous rencontrerons en abondance dans d'autres étages géologiques non métamorphiques, analogues en particulier à ceux qu'en Scandinavie nous trouverons dans le silurien authentique du Dunderlandsdal avec un facies identique à celui des minerais encaissés dans l'archéen voisin. Il est probable, d'autre part, que certains autres sont des filons-couches ayant eu une origine interne, et qu'ils représentent, pour cette phase ancienne, ce type des substitutions filoniennes, dont nous avons vu tant d'exemples. La question se pose surtout pour ceux de ces minerais qui sont en rapport direct avec des calcaires. Nous étudierons ici, d'un même coup, tous les gisements interstratifiés de Scandinavie, des Etats-Unis, de l'Afrique Centrale, etc., indépendamment de cette diversité possible d'origine et nous leur rattacherons également, d'après leur apparence extérieure, des gisements, comme ceux de Mokta-el-Hadid, où la substitution ancienne, suivie d'une recristallisation par retour en profondeur, paraît très vraisemblable.

L'étude des minerais scandinaves va nous permettre aussitôt de préciser quelques observations qui s'appliquent à tous les gisements du même type.

1° à 6° MINERAIS INTERSTRATIFIÉS DE SCANDINAVIE[1]

Origine et allure des minerais. — Comme la plupart des gisements ferrugineux intercalés dans les terrains à facies archéen, les minerais

[1] Gisements visités en 1890 et 1904. Nous renvoyons, pour tous les détails sur ces gisements, aux *Gîtes métallifères* (t. 1, p. 702 à 719, avec bibl.) et au mémoire sur les *gisements de fer scandinaves* (Annales des mines de 1903, avec bibl., p. 162). — Voir en outre : 1858. A. Bauer. *Eisenerze in Schweden* (Verh. d. K. K. geol. Reichs., Wien, t. 9, 1575). — 1891. Törnebohm. *Om Pitkäranda malmfält* (Geol. För. Stock., t. 13, p. 313-334). — 1891. Sjögren. *Formation des minerais de fer suédois* (C. R. Z. f. pr. G., 1893, p. 434). — 1894. Vogt. *Ueber die Sedim. der Eisenerzlager und des Eisenglimmerschiefer* (C. R. Z. f. pr. G., p. 30). — 1895. Vogt. *Nissedalens jernmalmforekomst Thelemarken* (Norg. geol. Unders, n° 17. C. R. Z. f. pr. G., 1896, p. 78). — 1895. Tigerstedt *Om Finlands malmförekomster* (Geogr. Ver. in Finland, C. R. Z. f. pr. G., 1895, p. 91). — 1896. Vogt. *Om de lagrade jernmälms fyndigheternas Bildningssätt* (C. R. Z. f. pr. G., 1897, p. 263). — 1896. Petersson. *Geol. beskr. av. Nordmarks Grufvors Odalfält* (Stockholm. 60 p.; C. R. Z. f. pr. G., 1899, p. 140). — 1897. Nordenström. *L'industrie minière de la Suède en 1897.* — 1897. Kolderup. *Fosforsyregehalteni Ekersund Soggendalsfeltsbergarter* (Bergen, Museums Jahrb., 1897, n° IX, 11 p.; C. R. Z. f. pr. G., 1899, p. 104). — 1898. Newbigin. *The siliceous iron-ores of northern Norway* (Tr. of the N. of Engl. Inst..., t. 47, part. 5. Newcastle upon Tyne, p. 251-271. — C. R. Z. f. pr. G., 1899, p. 356). — 1898. Högbom. *Om de vid Syenit bergarter bundna Jernmalmerna* (Oestra Ural geol. Fören. Föhr., n° 186, t. 20, Stockholm). — 1899. Beck. *Ueber einige mittelschwedische Eisenerzlagerstätten* (Z. f. pr. G.). — 1899. *La ligne Luleo-Ofoten*, etc. (Stalh und Eisen, p. 61, etc.). — 1899. Wetzke. *Die Gellivara-Erze* (Mitth. d. geogr. Ges. Lubeck, p. 48-61). — 1900. O. Vogel. *Ueber einige weniger bekannte Eisenerzvorkommen im nördlichen Schweden* (Stahl und Eisen, 20e année, p. 530 à 536 et 590 à 592). — 1900. Vogt. *Eisenindustrie in Norwegen* (Z. f. pr. G., p. 329). — 1901. Svenonius et Petersson. *Sur*

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

scandinaves présentent, soit une lentille allongée suivant la stratification, soit un système de lentilles chevauchant en plan les unes sur les autres et également interstratifiées dans des terrains de gneiss, leptynites, micaschistes, etc., dont les couches sont généralement très redressées et souvent plissées. Les plans donnés plus loin de Gellivara, Norberg, Dannemora (fig. 229, 232, 234), illustrent suffisamment ces conditions de dépôt. Parfois ces couches sont très épaisses, hors de proportion avec les sédiments ferrugineux connus dans les terrains non métamorphiques; elles atteignent jusqu'à 50 ou 100 m., particulièrement dans les gisements, comme ceux de Dannemora, où il y a relation avec des calcaires, et l'on peut alors se demander, ainsi que nous venons de le remarquer en principe, si l'interprétation sédimentaire est là bien exacte, si on n'est pas amené à confondre ensemble, par le fait qu'ils sont rapprochés géographiquement et tectoniquement, des phénomènes dissemblables.

Mais, dans le cas le plus général, l'origine sédimentaire de ces amas ferrugineux paraît, bien qu'elle ait été fort controversée jadis [1], à peu près indiscutable. Rien dans leur allure, sauf quelques accidents de détail dont on peut trouver l'explication, ne présente le caractère filonien. D'autre part, j'ai eu l'occasion de dire bien des fois, ici et dans des travaux antérieurs, combien il me semblait essentiel de faire rentrer dans la loi commune des terrains sédimentaires, en attribuant au métamorphisme son rôle réel, ces couches cristallophylliennes, que l'on envisageait autrefois comme la croûte primitive du globe et dont l'âge peut, en réalité, varier, suivant les régions, du précambrien au tertiaire. Il n'y a donc aucune raison pour chercher de parti pris une explication spéciale aux minerais de fer qu'ils renferment et pour différencier ces derniers de ceux que l'on trouve intercalés au milieu d'autres sédiments.

Or ces amas de fer s'interstratifient, d'une façon constante, par lentilles, par bancs, parfois par couches minces extrêmement prolongées, au milieu des terrains qui les encaissent. Ils peuvent assurément présenter des indices de dislocations mécaniques, qui amènent des pénétrations locales et accidentelles dans la roche du toit ou du mur ; mais, partout

le gisement de Jukkasjärvi (Z. f. pr. G., p. 149). — 1901. *Prepar. magnet. à Pitkäranta en Finlande* (Oest. Z. f. B. u. H., p. 429-431). — 1902. Petersson. *Eisenerzfelder Svappavara, Leveäniemi, Mattsmoor, Mertainen in Norrbotten, Schweden* (B. u. H. Z., 1902, p. 652-654. Essener Glückauf, 1900). — 1902. De Celis. *Gites de fer suédois* (Revista minera, 16 nov.). — 1903. Everding. *Reisebericht über eine Studienreise durch die wichtigsten Erzgebiete Skandinaviens* (B. u. H. Z.). — 1906. Hj. Sjögren. *Om vara jarnmalmers Bildningssätt* (Geol. För. Förh., p. 316-356) et *The geol. rel. of the Scand. iron-ores* (Tr. Am. Inst. min. Eng., juillet 1907, p. 877-946). — 1906. H. Johannson. *Till frågen om de mellansvenske jernmalmernas Bildningssätt* (Geol. För. Förh., p. 516-538 et 1907, p. 143-186). — 1907. Stutzer. *Geol. u. Gen. der lappländischen Eisenerzlagerst.* (N. J. f. Min., t. 24). — 1908. Nicou. *Les gisements de minerai de fer de la Laponie suédoise. Etude technique et économique* (Extrait des Annales des mines, 1 vol. de 244 p. et 4 pl.). — 1911. Nicou. *Etude sur les minerais de fer scandinaves* (*Laponie suédoise, Grängesberg, gisements de minerais pauvres* (Ann. d. M., 10e, t. 85 à 379).

[1] Poszepny a encore soutenu l'origine filonienne dans un mémoire de 1895 (*Ueber die Genesis der Erzlagerstätten*, 191), où, d'une façon générale, il combat partout la théorie sédimentaire, notamment pour les gisements cuivreux du Mansfeld, dont nous avons déjà discuté l'origine (t. 1, p. 229 à 240). Nous entendons, d'ailleurs, ici le mot sédimentaire avec toutes les restrictions théoriques qu'il comporte, comme nous l'avons dit plus haut, pour les gisements oolithiques quelconques.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ailleurs, il y a concordance entre eux et les strates de gneiss, hälleflints, leptynites, etc., qui les enveloppent.

Ajoutons que la principale objection apparente à une hypothèse sédimentaire, — à savoir les grandes divergences dans la nature des couches encaissantes aux divers points du même district minier — peut être, ce semble, levée par la supposition très vraisemblable, d'après laquelle les hälleflints, les leptynites et gneiss amphiboliques, au milieu desquels on rencontre souvent les minerais, proviendraient, en grande partie, d'anciens sédiments, peut-être en partie calcaires, diversement silicifiés ou feldspathisés suivant les points. Quelques autres difficultés, auxquelles on aurait pu s'arrêter, telles que la multiplicité des lentilles ferrugineuses sur certains points, ou l'épaisseur anormale de quelques-unes, trouvent également leur explication. Considérant donc l'origine sédimentaire des gisements comme très vraisemblable, il reste à préciser dans quelles conditions s'est faite leur sédimentation et comment le mode de dépôt, ou les réactions ultérieures, auxquelles ils ont été soumis, permettent de comprendre leur allure actuelle, la nature de leurs minerais, les corps étrangers qu'ils renferment, etc.

Sur le premier point, à savoir le mode de dépôt des minerais de fer, les auteurs scandinaves, Vogt, Sjögren, etc., paraissent s'être fait une opinion assez généralement admise dans leur pays. Pour eux, ce sont des minerais lacustres, des minerais de marais. Ils croient expliquer ainsi, d'une façon particulièrement satisfaisante, divers caractères des gisements : leur forme en amas, attribuée au dépôt sur un fond inégal ; la présence de bitume, anthracite ou graphite, causée par des plantes, auxquelles serait également dû le phosphore ; la teneur en soufre, tenant à la réduction de sulfates en présence de ces mêmes matières organiques, etc.

Il est bien difficile de discuter une question semblable pour des minerais encaissés dans des terrains, qui ne gardent plus rien de leur allure ni de leur constitution primitive et où toute trace d'organismes a disparu. Néanmoins, on doit se demande si ces géologues n'ont pas, comme cela arrive assez naturellement, été séduits d'abord par l'assimilation avec les minerais de fer actuels propres aux régions du Nord dans lesquelles ils vivent, tandis que nos minerais de fer secondaires ou tertiaires d'origine marine, auxquels il est encore plus naturel d'assimiler les minerais scandinaves, leur sont moins familiers. En réalité, quand on passe en revue la série complète des minerais de fer intercalés dans des strates sédimentaires à conditions de dépôt bien connues, on les trouve à peu près tous dans des strates marines et contenant eux-mêmes des fossiles marins ; on peut même ajouter qu'un nombre de plus en plus grand d'entre eux nous apparaît, à mesure que les études se multiplient et se précisent, comme ayant passé par l'état de sidérite oolithique, ultérieurement oxydée dans un phénomène d'altération[1]. Nous ne croyons pas que l'explication des formes lenticulaires propres aux minerais scandinaves par un dépôt sur un sol marécageux inégalement bosselé ait une bien grande portée ; elle ne rend compte, en effet, ni de la concordance habituelle entre les couches

[1] La découverte d'encrines dans les minerais du Lac Supérieur est en faveur d'une origine marine pour la généralité des minerais analogues.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

du mur et les sinuosités du gisement, ni des renflements qui existent dans le gîte aussi bien au toit qu'au mur, ni même des épaisseurs du minerai atteignant une centaine de mètres, c'est-à-dire une dimension bien extraordinaire pour un minerai de marais, tandis que les plissements ultérieurs de dépôts marins, la réunion de plusieurs bancs d'abord distincts et superposés par le métamorphisme et surtout la substitution du fer à d'autres terrains par altération chimique peuvent, au moins aussi bien, comme nous allons le voir, expliquer ces phénomènes.

Nous imaginons donc, à une époque primaire indéterminée, — qui n'est pas du tout nécessairement précambrienne, puisque les gisements du Dunderlandsdal sont dans le silurien, mais que l'absence ou la disparition des restes organiques empêche de caractériser, — des dépôts de fer, analogues par exemple à ceux de Meurthe-et-Moselle [1]. C'est sur ceux-ci qu'ont eu lieu les réactions du métamorphisme par retour en profondeur et celles de la métasomatose par ramenée au jour, avec cristallisation, silicification, etc.

En même temps, la réaction du fer sur les roches encaissantes a dû se produire sous la forme d'une véritable opération métallurgique, entraînant la cristallisation de minéraux ferrugineux, tels que les grenats, pyroxènes, etc.[2], dont l'ensemble compose la gangue de skarn ; c'est-à-dire qu'un même calcaire primitif peut se retrouver aujourd'hui sous trois apparences distinctes, constituant les trois gangues principales des minerais scandinaves : calcaires subsistants; skarn à silicification incomplète; ou enfin roches entièrement silicifiées ou feldspathisées, hälleflints et leptynites. Par un phénomène connu, cette métallurgie naturelle a pu déplacer, séparer ou concentrer localement du phosphore.

Les terrains encaissants eux-mêmes ont dû prendre, par ce métamorphisme, les facies très divers que nous y observons aujourd'hui.

Les réactions chimiques métamorphisantes, où nous apercevons l'indice de véritables phénomènes de pneumatolyse, ont été accompagnées, précédées ou suivies de mouvements mécaniques, dont les gîtes portent la trace constante, sous forme de cassures locales, failles plus générales, pseudo-schistosités, rebroussements, contournements, etc. [3]. Il semble bien que l'accumulation des bancs plissés sur certains points d'inflexion ait, en dehors des actions de substitution possibles, contribué à la formation des gros amas, que l'on trouve presque toujours, à des coudes des gisements (notamment à Gellivara, Grängesberg, Norberg, Persberg).

[1] Voir à ce sujet, L. De Launay. *Les minerais scandinaves*, p. 141 et suiv. J'ai insisté, dans ce travail, sur le rôle important attribué aux calcaires dans la formation première de ces minerais de fer, auprès desquels ces calcaires ont souvent disparu.

[2] On remarquera que le grenat, le pyroxène, l'épidote font complètement défaut à Gellivara et Kirunavara et sont rares à Grängesberg, alors qu'ils sont tellement fréquents dans certains gîtes de la Suède Centrale, à Dannemora et même à Norberg, qu'on croirait y voir un corollaire presque obligé du minerai de fer. Cela correspond bien à la rareté des calcaires dans les premiers gisements, à leur abondance dans les derniers.

[3] Les exemples de torsion dans les couches métallifères à leurs coudes sont très fréquents (mines Johan, Tingvalls kulle, Linné, à Gellivara, etc.). De même, j'ai cité de nombreux exemples de brèches avec ciment granulitique et cristallisation de hornblende le long des gisements (Fredrikas à Gellivara, Norberg, etc.); j'ai parlé également de ces espèces de failles que l'on appelle le sköl.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nature des minerais suédois. — Quand on examine la nature de ces minerais suédois, on voit qu'ils sont composés, tantôt d'oligiste, tantôt de magnétite, tantôt des deux formes d'oxydes associées en proportions variables. Le motif de cette oxydation plus ou moins complète est souvent difficile à reconnaître, bien qu'il apparaisse assez nettement dans divers cas particuliers.

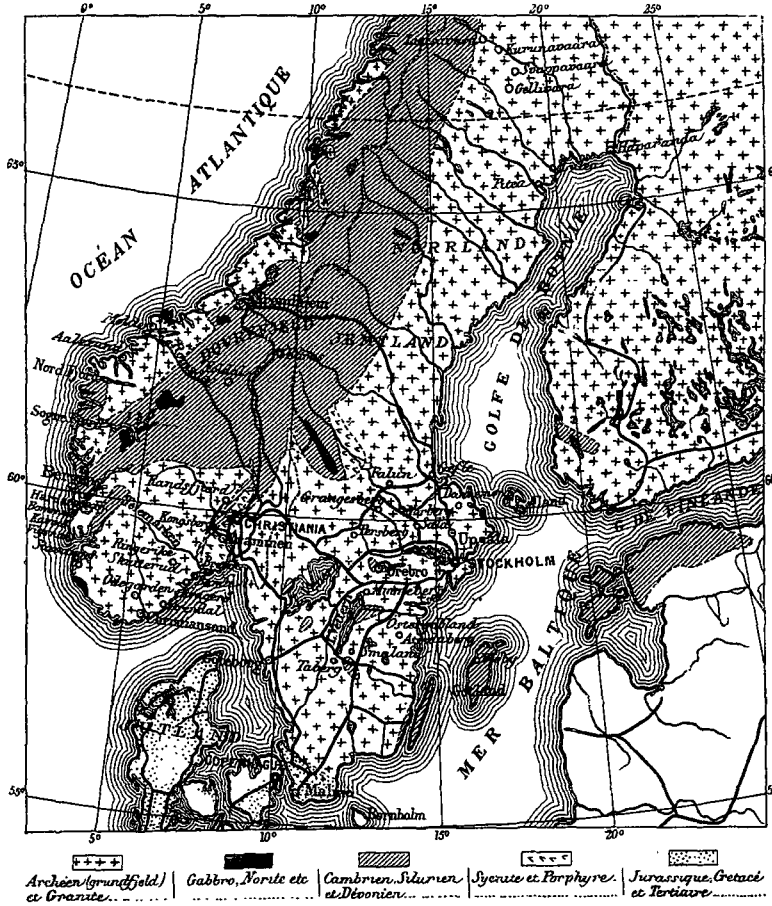


Fig. 228. — Carte géologique et minière de la Suède. Echelle au 1 : 14 000 000.

Ainsi, quand le terrain encaissant est calcaire, il est rare que le minerai n'ait pas pris la forme de magnétite, avec ou sans action connexe des éléments ferrugineux sur le terrain encaissant, c'est-à-dire avec ou sans gangue de skarn (grenat, pyroxène, hornblende, épidote). En même temps, on constate souvent une richesse en manganèse et une pureté en phosphore, qui contribuent à faire rechercher ces minerais noirs (svart malm), plus aisément fusibles à cause de leur association avec la chaux.

Ces caractères très particuliers peuvent faire penser à un mode de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

formation spécial, par exemple à une substitution ancienne : soit qu'il y ait eu déplacement du fer provenant d'un sédiment ferrugineux intercalé dans la série stratigraphique au voisinage d'un calcaire; soit qu'il y ait même eu intervention filonienne.

Au contraire, dans les terrains siliceux, le minerai est généralement à l'état peroxydé, c'est-à-dire sous forme de minerai sec (torrsten malm). Mais cet oligiste a pu se transformer localement en magnétite par des actions diverses, dont l'une apparaît très nettement quand on voit la réduction de l'oligiste en magnétite s'opérer le long de filons quartzeux ou granulitiques à hydrocarbures. J'insisterai tout à l'heure sur ce fait que la plupart des minerais de fer scandinaves ont été recoupés par des veines nombreuses de granulite rose avec quartz. Il est très vraisemblable que ces granulites (ou les phénomènes qui les ont elles-mêmes amenées), ont été pour quelque chose dans la réduction en magnétite, ainsi que dans la cristallinité générale des minerais, et peut-être, comme nous le verrons, ont-elles joué un rôle également dans l'apport de certaines substances accessoires, telles que le cuivre, plus rarement le plomb, le zinc, ou même, exceptionnellement, le phosphore.

Enfin, l'on constate très fréquemment un phénomène d'altération superficielle et récente, qui, avec ces minerais compacts difficilement pénétrables, sur ces plateaux où le niveau hydrostatique est peu profond, n'a guère d'importance pratique : c'est l'altération des minerais cristallisés, ayant redonné des hématites rouges ou brunes, qui salissent les minerais superficiels, en même temps que des veinules de calcite ont pu se former et que certaines impuretés (phosphate, sulfure de fer) ont pu disparaître.

Il existe, entre ces divers minerais norvégiens, une coupure, une démarcation de la plus haute importance pratique ; c'est celle qu'établit la présence ou l'absence du phosphore. D'une part, la Suède présente quelques-uns des minerais les plus purs en phosphore que l'on connaisse, des minerais à Bessemer typiques, comme ceux de Dannemora ; d'autre part, on y trouve, dans des gisements semblables, des minerais remarquablement phosphoreux, comme ceux de Gellivara, Grängesberg, etc., arrivant à tenir 5 ou 6 p. 100 de phosphore, passant même par endroits à de véritables minerais d'apatite. Toutes les transitions entre ces deux types extrêmes se présentent, et souvent l'on n'aperçoit pas la raison pour laquelle certains de ces minerais, qui affectent des conditions géologiques analogues, sont les uns phosphoreux et d'autres purs. La localisation géographique est seule très nette. Les minerais très phosphoreux sont au Nord, à Svappavara, Gellivara, Grängesberg ; plus au Sud, on a des minerais intermédiaires : Grängesberg, Norberg ; puis, tout à fait au Sud, des minerais purs (fig. 228).

1° GELLIVARA (NORRBOTTEN)[1]

Disposition générale des gisements. — Le gisement de Gellivara peut être choisi comme type des gisements étudiés dans ce chapitre. Nous en parlerons donc avec quelques détails.

[1] Coll. Ec. des Mines, 2310.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

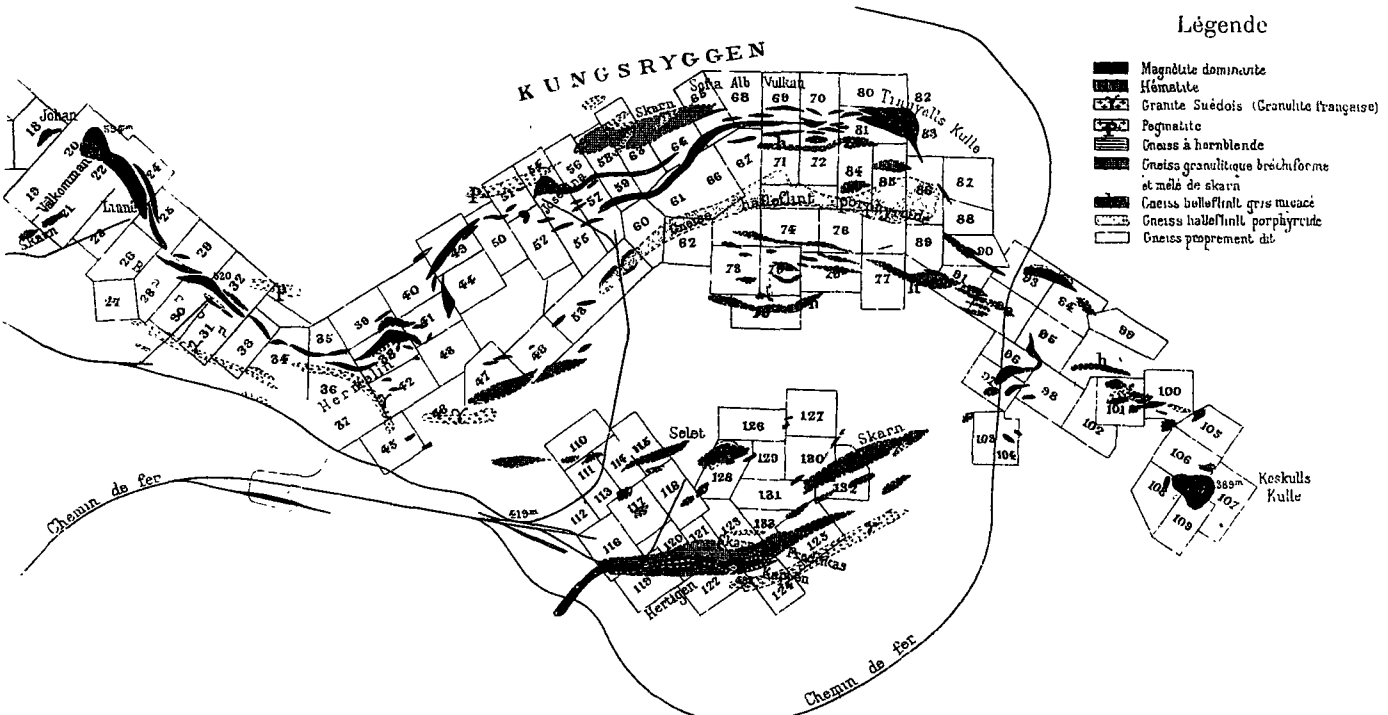


Fig 229. — Carte géologique des gisements de fer de Gellivara. Echelle au 1/33 250e.
(Les chiffres correspondent aux différentes exploitations.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Comme le montre notre carte (fig. 229), l'ensemble du pays est formé de roches gneissiques présentant les variétés suivantes : gneiss hälleflint gris micacé ; gneiss hälleflint porphyroïde ; gneiss granulitique (au sens français du mot), bréchiforme, chargé de hornblende et de cet ensemble de minéraux que les Suédois nomment le skarn [1] ; gneiss amphibolique, etc. Les hälleflints rentrent dans ce que nous appelons, en France, des leptynites : c'est-à-dire que ce sont des roches compactes ou à grain fin, euritiques et zonées, à cassure homogène et conchoïdale, essentiellement formées d'un magma granulitique de quartz et feldspath, avec parfois hornblende et chlorite [2]. Au milieu de ces terrains, les gisements forment des traînées, parallèles dans l'ensemble à la stratification, mais fortement sinueuses : le tout plongeant vers le Sud, avec des inclinaisons variables, toujours très voisines de la verticale.

Sur ce système métallifère, qui forme évidemment un tout homogène et qui est caractérisé par deux longues zones principales, dont l'une, celle du Sud, n'est peut-être même que le repliement de la plus septentrionale, on se serait attendu à trouver partout les minerais, supposés sédimentaires, encaissés entre les mêmes strates des mêmes terrains. Au lieu de cela, on observe, au contact des minerais : dans l'Ouest, des gneiss à hornblende ; au Nord-Est, des hälleflints ; au Sud-Est, des gneiss granulitiques à brèche de skarn. C'est un fait que nous aurons à noter dans la plupart des gisements suédois, parfois même plus singulier encore quand une partie des minerais d'un même centre minier se trouve dans des gneiss siliceux semblant provenir d'anciens schistes ou grès métamorphisés, l'autre dans des calcaires encore subsistants, comme à Norberg. Evidemment, il faut, pour le comprendre, attribuer, avant tout, dans les facies actuels des terrains, la plus large part au métamorphisme, qui aura, par endroits, silicifié des calcaires ou déterminé telle autre modification profonde, et, par exemple, introduit, dans les strates, des granulites, souvent accompagnées d'un développement d'amphibole, après avoir produit les zones de dislocation bréchiformes correspondant au skarn.

Comme gisements principaux, on a surtout : au Nord, de l'Est à l'Ouest, les amas de Johan, Välkomann, Hermelin, Linné, Sofia, Tingvallskulle ; au Sud, Hertigen, Kapten et Fredrikas.

D'après les plus récentes observations, la superficie horizontale des divers gîtes de Gellivara donne un total de 181 000 m², correspondant à 596 000 t. par mètre d'approfondissement, ou, au total, pour une exploitation allant jusqu'au niveau de 100 m. au-dessous de la mer, à 226 MT [3].

On peut voir, sur notre plan d'ensemble, la façon dont ce système de lentilles, tantôt semble s'effiler en une seule veine, tantôt accumule les

[1] Le skarn de Gellivara et Kirunavara ne renferme pas de grenat ni d'épidote ; il n'en contient que localement à Gränsberg : on en trouve, au contraire, beaucoup dans les mines du Sud de la Suède.

[2] Ce sont des roches de la même famille, auxquelles les Allemands et Suédois appliquent le nom de granulites, attribué, en France, aux granites à mica blanc.

[3] Ces calculs ont été poussés jusqu'à une grande profondeur. En 1906, Dellwick ne comptait que 41 MT pour 100 m. d'approfondissement au-dessous des travaux qui existaient alors.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

couches parallèles sur un même point. Les gisements, dont on trouvera les noms sur la fig. 229 et dont le principal (Tingvalls kulle) sera décrit un peu plus loin, ne se suivent pas régulièrement à un ou plusieurs niveaux constants, mais empiètent et chevauchent les uns sur les autres.

C'est une disposition, qui se reproduit également dans le détail. Chacune des lentilles métallifères, envisagée isolément, ne saurait être considérée comme formée de minerai massif; elle se subdivise, à son tour, comme le fait la zone métallifère elle-même, en une série de veines plus petites avec minces intercalations de gneiss, veines grossièrement continues, bien que séparées par des joints stériles, et chevauchant souvent les unes sur les autres comme les grandes lentilles.

Il est difficile aujourd'hui de déterminer ce qui, dans cette allure, peut revenir aux conditions de dépôt primitives et ce qui a pu, au contraire, être déterminé par les accidents postérieurs à la formation.

Ces accidents, nous en avons la preuve directe dans les brèches à hornblende et skarn, qui sont un des éléments caractéristiques de la région, ainsi que dans nombre de plis, de décrochements, de failles, qui coupent et rejettent le minerai. Ils sont surtout visibles, sous cette forme, aux deux grands points d'inflexion, marqués par les gîtes de Johan à l'Ouest et de Tingvalls kulle à l'Est, où nous allons les étudier; mais, en outre, ils se traduisent par un remarquable système de filons granulitiques, qui recoupe à la fois les gneiss et les minerais, ici comme dans tous les gisements suédois.

Nature et composition des minerais. — Les minerais exploités à Gellivara sont, presque exclusivement, de la magnétite, très accessoirement de l'oligiste, qui se localise dans la zone tout à fait septentrionale des gisements, au mur de l'ensemble, par un phénomène que nous retrouverons également à Grängesberg.

Tous ces minerais sont cristallisés. La magnétite de Gellivara se présente rarement en masses compactes à grain fin, à cassure d'acier, comme celle que l'on trouve dans d'autres gisements suédois et qui existe à Kirunavara. Elle est ordinairement en grains bien individualisés, ayant souvent 1 millimètre et plus de diamètre; parfois, elle atteint une moyenne de 2 à 3 millimètres dans certains minerais très riches en apatite cristallisée, où le mélange grenu d'apatite et de magnétite présente le même aspect extérieur que celui des éléments noirs et blancs dans un granite ou une diorite. Il en résulte que ces minerais sont fréquemment friables et donnent à l'abatage une forte proportion de poussière.

L'oligiste, quand il existe, commence par apparaître en mélange avec la magnétite, puis se concentre sur certains points, où il domine; il est alors en masses brillantes, souvent schisteuses, dont les lamelles aplaties ont un peu la disposition d'une cotte de mailles.

Ces minerais sont presque tous très riches en phosphore, mais purs en autres substances étrangères.

La teneur en soufre est très faible, malgré la présence exceptionnelle d'un peu de pyrite.

La calcite est des plus rares et l'on ne trouve pas non plus les miné-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

raux résultant du métamorphisme d'éléments calcaires, tels que le grenat, si abondant dans d'autres gisements suédois [1].

Les analyses suivantes préciseront ces questions de composition pour les minerais les plus purs en phosphore, seuls exploités autrefois.

TABLEAU 32. — COMPOSITION DES MINERAIS NON PHOSPHOREUX DE GELLIVARA.

	Hertigen	Tingvalls kulle	Robsahn	Välkomman	Frédrikas
Fe^3O^4	92,10	90,65	87,80	88,35	92,25
Fer	66,7	65,7	63,6	63,9	68,3
MnO	»	»	»	»	trace
MgO	0,70	0,60	2,50	0,50	1,70
CaO	2,10	2,35	2,40	2,10	0,85
BaO	»	0,10	»	»	»
Al^2O^3	0,70	0,85	1,05	0,20	0,60
SiO^2	2,10	3,10	5,95	4,70	4,25
P	0,742	0,512	0,038	0,394	0,019

J'arrive à la *teneur en phosphore*, dont l'importance industrielle est capitale.

Cette teneur en phosphore correspond ici beaucoup moins à du phosphore incorporé dans l'oxyde de fer même qu'à de l'apatite distincte, tantôt cristallisée en même temps que la magnétite, tantôt localisée au milieu de celle-ci en lentilles et veines de grandes dimensions, qui ont alors souvent une relation directe avec les filons de granulite et de pegmatite.

En laissant de côté ces lentilles et veines, on trouve souvent : dans les cas où l'apatite est très abondante, des zones stratifiées alternantes de fine apatite rose ou verdâtre et de magnétite ; plus souvent, un mélange intime et grenu à proportions très variables des deux minéraux.

L'apatite est si facile à distinguer de la magnétite au premier coup d'œil qu'avec une courte expérience les mineurs de Gellivara arrivent à séparer les cinq catégories de minerais suivantes, qui forment autant de produits marchands indépendants :

A. Au-dessous de 0,05 p. 100 de phosphore ;
B. Entre 0,05 et 0,1 —
C. Entre 0,1 et 0,8 —
D. Entre 0,8 et 1,5 —
E. Au-dessus de 1,5 p. 100, quelle que soit la teneur.

Les minerais A et B d'une part, D et E de l'autre, c'est-à-dire, d'un côté, les minerais relativement purs, destinés aux usines suédoises dont nous avons donné plus haut les analyses et, de l'autre, les minerais phosphoreux pour exportation, forment, à Gellivara, deux zones bien distinctes. L'une au Sud, à minerais purs, comprend les gîtes de Hertigen, Kapten, Frédrikas, Selet; l'autre, au Nord, beaucoup plus importante, embrasse à peu près tous les autres gisements.

[1] Un peu de fluorine accompagne la granulite à Tingvalls Kulle. Il existe également de la fluorine et même du béryl à Gränsgesberg. Ces minéraux sont probablement en relation avec les pegmatites, postérieures au minerai.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

On peut remarquer pourtant que, lorsque l'oligiste apparaît, la teneur en phosphore semble ordinairement y être plus faible que dans la magnétite. C'est un fait que nous retrouverons en étudiant les gisements de Grängesberg, mais qu'il ne faudrait pas cependant généraliser outre mesure ; car les magnétites de Dannemora, par exemple, sont parmi les minerais les plus purs de la Suède.

Parmi les tranchées de Gellivara, nous nous contenterons de signaler celle de Tingvalls kulle, la plus importante de toutes. Attaquée sur 160 m. de long et 100 m. de large par deux étages de 15 m. chacun, elle porte sur un grand amas de magnétite phosphoreuse (types C, D, E), situé à une inflexion des couches, qui s'y recourbent à peu près à angle droit,

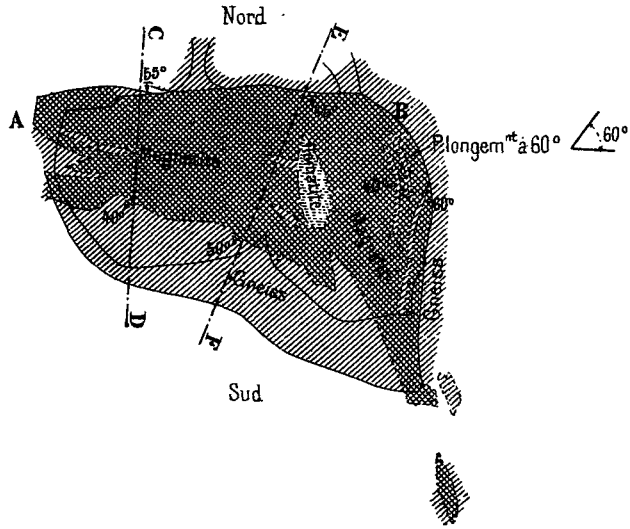


Fig. 230. — Plan de Tingvalls kulle (Gellivara) au 1/4 000e.

passant de la direction Est-Ouest à la direction Nord-Sud. Il en résulte, au coude même, en B (fig. 230), une haute paroi de gneiss micacé, absolument nette comme un mur de faille. La fig. 230 montre la disposition générale de cette lentille, ainsi que les interstratifications de veines gneissiques et l'apparition, au centre de la magnétite, d'un noyau d'hématite assez difficile à expliquer. Vers le Sud-Est, la lentille se réduit peu à peu à un banc mince de 6 à 8 m. de large, qu'on peut suivre assez longtemps avec cette épaisseur.

2° SVAPPARAVARA (NORRBOTTEN)[1]

Le gisement lapon de Svappavara, auquel nuit la dissémination irrégulière du cuivre, est seulement exploré assez incomplètement, mais non exploité. Sa section horizontale peut atteindre 30 à 35 000 m². Son cube

[1] Coll. Ec. d. M., 2342.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

représente, sur la hauteur de 70 à 80 m. dont on dispose au-dessus de la vallée, un maximum de 5 MT.

Comme toutes les mines dont il est question dans ce chapitre, ce gisement apparaît intercalé ou interstratifié dans le cristallophyllien ; il forme une longue zone, visible d'une façon à peu près continue sur 1 km. et reconnue au total, au moyen du magnétomètre, sur 1 400 m. avec une largeur de 60 mètres.

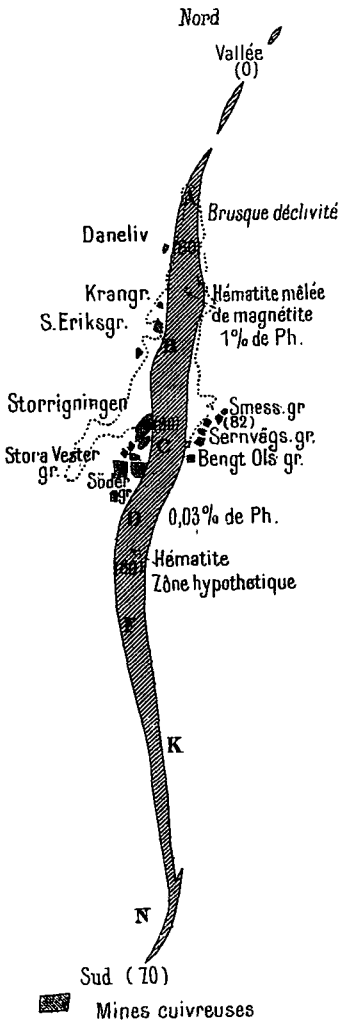


Fig. 231. — Plan schématique du gisement de Svapparavara, au 1 : 700.

En moyenne, le plongement du minerai est très redressé, l'amas a pratiquement l'allure d'un amas filonien et il n'y aurait rien d'absolument impossible à ce qu'il en eût l'origine.

La nature du minerai varie beaucoup du Nord au Sud.

Toute la zone Nord comprend un axe central formé de magnétite et hématite phosphoreuses, généralement calcaires, avec concentration cuivreuse sur les deux épontes. A partir du point D, la nature du minerai se modifie très notablement ; le cuivre n'apparaît plus ; la magnétite fait défaut ; l'aspect est plus homogène, et l'on a des masses brillantes d'une hématite, souvent poudreuse, qui tient de 60 à 67 p. de fer, avec 0,20 à 1,26 de phosphore, 0,02 de soufre et 1 à 5 de chaux. Quelques points isolés ont donné des minerais à peu près purs.

Si l'on cherche à concevoir l'origine de ce gisement, on est, dans l'état actuel de nos connaissances sur lui, assez embarrassé. L'hypothèse la plus naturelle et très probablement la plus plausible est de l'assimiler aux gisements de Gellivara, Grängesberg, etc., et de le considérer, lui aussi, comme un niveau sédimentaire métamorphisé, ayant pris la composition de la magnétite dans la partie Nord, où le terrain encaissant devait être en partie calcaire et passant à l'oligiste plus au Sud. Une forte altération superficielle récente expliquerait la retransformation locale de la magnétite en hématite.

La présence de cuivre, bien qu'en proportion un peu plus forte que d'habitude, n'est pas, dans les minerais de fer oxydés, un fait anormal.

Cependant cette association de l'hématite avec des sels de cuivre oxydés est, dans la plupart des gisements que nous connaissons en d'autres pays, particulièrement caractérisée pour les chapeaux de fer résultant de l'altération superficielle d'amas pyriteux profonds, et si, au lieu de la ren-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

contrer en Laponie, nous avions affaire à un gîte algérien, on devrait remarquer la ressemblance de cette lentille métallifère avec certains grands amas, où la même association se présente[1]. Le fait même que la pyrite de cuivre est particulièrement localisée sur les deux épontes ressemble beaucoup à ce qui se passe dans quelques amas pyriteux très probablement intrusifs, comme celui de Sain-Bel dans le Rhône[2], où la massè centrale est formée de pyrite de fer pure, tandis que, latéralement ou aux extrémités, on a du sulfure cuprifère et, parfois même, d'autres sulfures, de zinc, plomb, etc. C'est donc l'un de ces cas, signalés en commençant, où il n'est pas défendu de songer à une ancienne intervention filonienne[3].

3° GRÄNGESBERG (Kopparberg)[4].

Situation des gisements. — Description générale. — Le gisement de Grängesberg est anciennement connu; néanmoins son exploitation resta tout à fait restreinte, jusqu'à la découverte du procédé Thomas; en raison de la nature phosphoreuse des minerais, il fut même, pendant quelque temps, interdit de les extraire pour ne pas nuire à la réputation des fers suédois.

Comme les gisements de Gellivara, ceux de Grängesberg forment une série de traînées parallèles (tantôt trois, tantôt quatre), dirigées ici N.N.E. — S.S.W., avec plongement Est, espacées sur un kilomètre de large et dont la plus orientale est, dans sa partie Nord, de beaucoup la plus importante.

On peut suivre ces gisements, qui sont nettement interstratifiés dans la série des gneiss et hälleflints, sur une longueur totale de près de 5 km. sous la forme d'innombrables petites lentilles; mais les exploitations actuelles portent seulement sur une région de 1 km. de long, où se trouvent les couches les plus développées. Dans l'ensemble, la disposition est la suivante :

1° Au Nord-Est, une large zone forme des lentilles, qui atteignent 80 et 90 m. de large, où l'on exploite des minerais phosphoreux destinés à l'exportation et surtout composés de magnétite, avec une bande d'hématite au mur. C'est ce que l'on appelle l'*Export fältet*, qui fournit seul presque toute la production de Grängesberg.

Presqu'à l'extrémité Nord de cette zone, se trouve la principale tranchée à ciel ouvert, ou *Skärpningen*, dite aussi *Bergsbogrufvan*, d'où l'on tire, sur environ 400 m. de long et 50 à 60 m. de largeur moyenne (soit près de 20000 m² de superficie), 400 000 t. de minerai par an pour un approfondissement d'à peine 6 à 7 m.

[1] Voir plus haut, t. 2, p. 356 à 364, l'étude consacrée aux chapeaux de filons pyriteux.

[2] Voir plus haut, tome 1, p. 354.

[3] Nous trouverons de même à Dannemora (p. 340) divers sulfures métalliques près des minerais de fer.

[4] Coll. — Ec. d. M., 2343. Voir : 1898. Nils Hedberg. *The Grängesberg Iron Mines*. 23 p. (publication de la compagnie, traduite du suédois). — 1898. Wedding. *Die Eisenerzvorkommen von Gellivara und Grängesberg* (Preuss. Zeits. f. Berg.-, Hütten-und Salinenwes., t. 46, p. 69-78, avec 1 pl.). — 1907. Hedberg. *Grängesberg* (Jern Kontorets Annaler). — 1910. Har-Johansson. *Die Eisenerzführende Form. in der Geg. von Grängesberg* (Bul. Soc. Géol. Suéd). — 1911. Nicou. (*Loc. cit.*, p. 17.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

2° Vers le Sud-Ouest, c'est-à-dire au mur, une autre zone comprend deux traînées étroites, un moment interrompues vers leur milieu, à minerais plus purs.

Au total, nous avons vu que la production se maintient depuis 1900 autour de 700 000 t. ; (670 000 en 1905 ; 558 000 en 1909 ; 777 000 en 1910). On estime le cube restant en 1910 à 50 MT, dont 45 MT pour l'Export fältet.

Description géologique. — Les roches, qui encaissent les gisements de Grängesberg, sont classées, d'une façon générale, par les géologues suédois, dans la catégorie de ce qu'ils appellent des granulites (leptynites françaises ; quartz, orthose, plagioclase et mica). En général, ce sont des gneiss rubanés à grain fin, surtout formés de quartz et de mica, avec peu de feldspath. Ailleurs, l'exagération du quartz ou du mica les fait passer à des quartzites ou à des micaschistes. Il est peut-être permis de les considérer comme des calcaires plus ou moins schisteux, qui auraient été silicifiés et métamorphisés.

Ces couches de quartzites micacés ou de gneiss, quand elles sont mises à nu par les grandes tranchées à ciel ouvert, apparaissent remarquablement continues, seulement un peu gondolées ou cassées par quelques rejets ; le minerai n'y lance jamais d'apophyses latérales : ce qui arriverait sans doute, si l'on avait affaire à une série de filons-couches.

En résumé, le caractère sédimentaire paraît nettement accusé dans les gîtes de Grängesberg et c'est là une preuve nouvelle en faveur de l'origine sédimentaire des gîtes de Gellivara, que nous venons d'étudier et qui leur ressemblent tant. La continuité en profondeur de lentilles ou de veines très minces, comme celles du Sud (Granlund, Vattenflaskan, etc.), inclinées à 50 ou 60° et suivies à plus de 300 m. en profondeur, est évidemment un indice assez concluant ; de même, les alternances de leptynite et magnétite en zones minces, ou encore la structure microscopique des minerais, qui montre la magnétite, tantôt englobée par le quartz et le feldspath, tantôt les englobant, c'est-à-dire cristallisée dans les mêmes conditions qu'eux.

Cependant si, pour les couches minces, la théorie sédimentaire s'impose presque, on éprouve, au premier abord, quelques difficultés à s'expliquer, dans cette hypothèse, la formation des grosses masses de magnétite, au milieu desquelles courent des bandes transversales de roches stériles. A la réflexion, il semble, au contraire, qu'un pareil fait soit une confirmation indirecte de la même théorie. Les amas de dimensions exceptionnelles sont, en effet, généralement, concentrés, ici comme à Gellivara, sur des points où les couches doivent avoir subi une compression, un refoulement dans le sens de leur longueur. Les boucles, formées par les intercalations de couches stériles, semblent le résultat d'une telle compression, exercée sur deux strates d'abord parallèles, qui aura eu pour effet d'accumuler entre elles une masse ferrugineuse empruntée à une strate intermédiaire primitivement assez longue, de même qu'à Tingvalls Kulle (Gellivara), c'est sur un coude brusque des couches que s'est faite cette accumulation.

Enfin l'origine sédimentaire convient également bien pour expliquer la grande différence que présente la large zone de l'Est, de plus en plus

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

phosphoreuse quand on va vers l'Est, avec les zones minces de l'Ouest, pures en phosphore : cela est tout naturel si l'on a affaire à une série de dépôts successifs et indépendants, répartis sur une épaisseur de 3 à 400 m. de terrains sédimentaires.

Cette accentuation de la teneur en phosphore coïncide là, pour une cause ou pour une autre, avec le passage de l'oligiste à la magnétite.

4° NORBERG (Westmanland)[1].

Les conditions du gisement sont, à Norberg, très analogues à celles que nous venons de rencontrer à Grängesberg et à Gellivara ; il n'y aurait donc pas lieu d'insister, si, précisément, certains rapprochements, venant confirmer des observations antérieures, et d'autre part, des discordances de détail, qui enlèvent à quelques faits leur caractère de généralité, n'étaient intéressants à signaler. Les mines de Norberg, exploitées depuis le XVI[e] siècle, ont été, d'ailleurs, pendant une trentaine d'années, jusque vers 1892, les principales de Suède. Leur production, qui était de 100 000 t. par an entre 1870 et 1879, est tombée à 64 000 t. en 1889, mais remontée à 136 000 t. entre 1891 et 1895.

La région de Norberg est constituée par des alternances de leptynites et micaschistes (avec quelques bans calcaires dans l'Ouest) : terrains plissés et, ce semble bien, disloqués par un massif de granite rose sans mica[2], développé à l'Est. Un accident Nord-Sud, qui, vers Risberg, fait buter ce granite contre la tranche des terrains gneissiques coupés obliquement, est accompagné là par une accumulation toute spéciale de lentilles ferrugineuses : non pas sans doute qu'il y ait une relation de cause à effet entre le granite et la formation des oxydes de fer, mais plutôt parce que les couches ferrugineuses auront été là refoulées et accumulées sur elles-mêmes, ainsi qu'en témoignent, à Risberg, de nombreux plissements internes. Le développement des principaux amas serait donc, comme il nous a déjà semblé l'apercevoir à Gellivara et Grängesberg, le résultat d'un accident mécanique ayant refoulé et concentré, en la plissant, une couche plus ou moins longue, sur un seul point.

Les minerais, semblables à ceux des gisements précédents, sont à l'état de lentilles, variant entre 10 et 30 m. de puissance et formées d'oxydes cristallisés.

On peut, comme le montre la fig. 232, apercevoir deux zones de minerais principales, qui s'étendent sur environ 9 km. de long.

La première, celle de l'Est, qui peut comprendre deux ou trois couches parallèles, ainsi qu'on semble le reconnaître dans la région plus simple et

[1] J'ai donné autrefois une description de ce gisement, avec bibliographie, dans le *Traité des gites minéraux* (t. I, p. 708 à 713). — Coll. Ec. d. M., 1748. — Voir surtout : la carte géologique de TÖRNEBOHM (1876-1881), et la brochure publiée en 1890 par G. NORDENSTRÖM et A. GRANSTRÖM, pour la Société de Norberg-Risberg. — Comparer BECK (Z. f. pr. G., 1899, p. 2 et diverses publications citées en notes).

[2] Cette roche, désignée ici comme granite, est plutôt de la famille des granulites françaises, mais une granulite différant beaucoup, suivant une remarque générale en Suède, de celles que nous avons en France, par l'absence ou la rareté de mica blanc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

plus régulière du Nord vers Kallmorberg, est intercalée dans les leptynites siliceuses et formée surtout d'hématites mêlées de magnétite à gangue

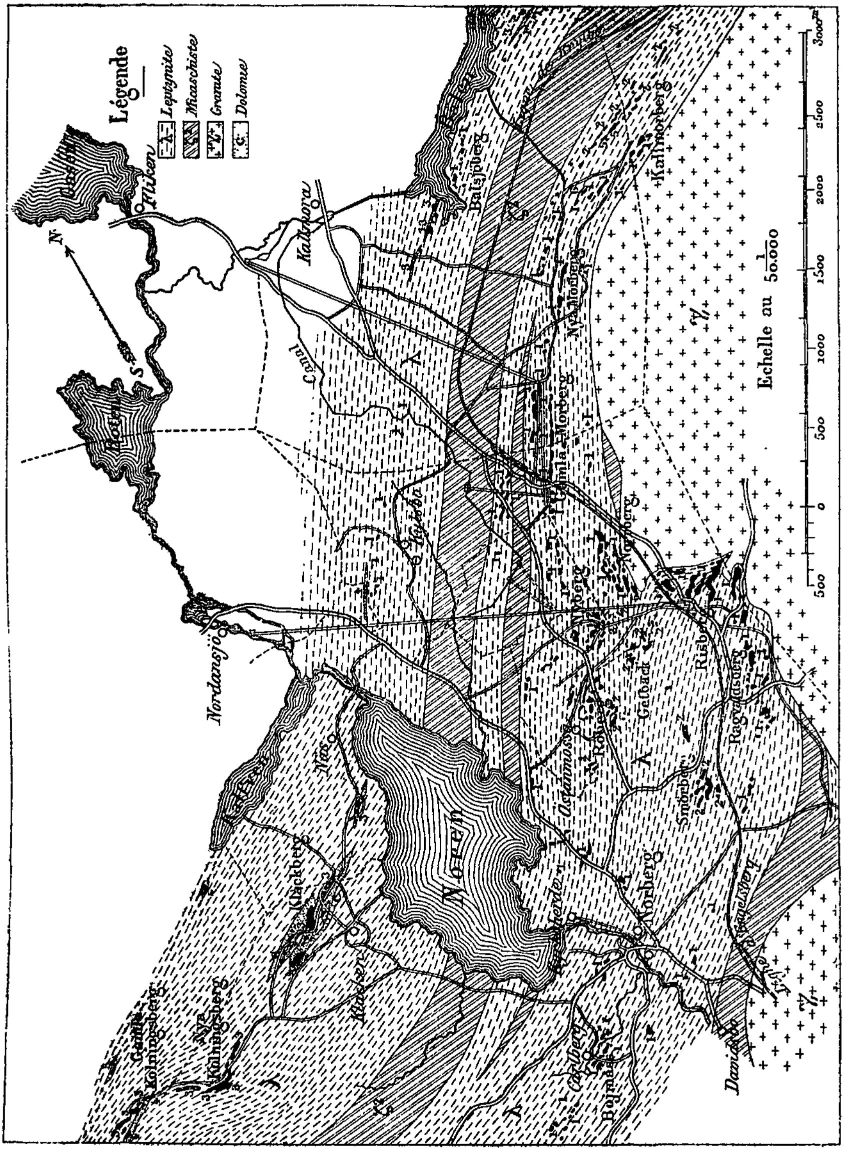


Fig. 232. — Carte géologique de la région de Norberg (Westmannland), d'après Törnebohm.

quartzeuse, de minerais secs (torrsten malm). On la connaît particulièrement au voisinage immédiat du granite, à Risberg et Norberg.

Il existe cependant aussi, dans cette première zone (à Röberg, Getback, etc.), des minerais de magnétite, à gangue de skarn, que nous allons voir dominer tout à l'heure et qui paraissent indiquer la présence, ici aussi, de quelques anciens bancs calcaires métamorphisés.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La seconde, celle de l'Ouest, Klackberg, Kolningsberg, comprend des minerais également encaissés dans les leptynites, mais associés assez directement à des bancs de calcaire dolomitique et souvent accompagnés de lits graphiteux (Kolningsberg), qui arrivent, une dizaine de km. au Sud de cette dernière mine, vers Halfvarsbenning, à former un véritable gisement de graphite. Par un phénomène trop constant pour être seulement accidentel, ces minerais en contact avec le calcaire sont presque exclusivement formés de magnétite (minerai noir, svart malm), avec une forte teneur en manganèse (10 p. 100), donnant lieu à des minerais manganésifères, tels que la knébélite, et jusqu'à 2 p. 100 de graphite. On y trouve, en même temps, par une loi également constante, ces magnétites accompagnées par les minéraux divers que produit le métamorphisme des cal-

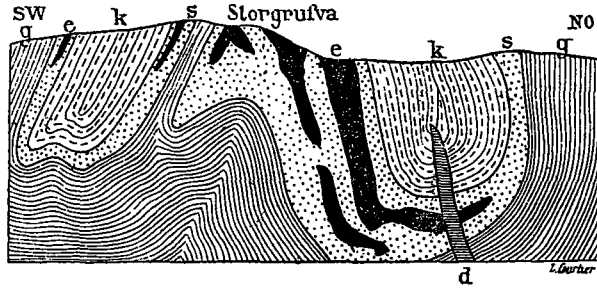


Fig. 233. — Coupe de la Storgrufva, à Persberg (d'après Beck).
g. Gneiss à biotite finement grenu. — *k*. Calcaire et dolomie. — *s*. Skarn. — *e*. Minerai de fer. — *d*. Diorite

caires, tels que le pyroxène (souvent ouralitisé), la hornblende (passant à son tour à la chlorite), le grenat, l'épidote, etc. : en résumé, le skarn.

Un autre fait très caractéristique, à Norberg comme à Grängesberg, est la présence locale de quelques brèches, qui existaient déjà très développées dans cette dernière mine : brèches, où des veines de pegmatite et de hornblende, ou d'épidote parfois grenatifère, enveloppent des noyaux de magnétite et de leptynite. Ici encore, la granulite est certainement postérieure à la formation du minerai et le recoupe en filons. On peut remarquer, dans le même ordre d'idées, que des diabases traversent également le gîte.

D'après les analyses, la teneur en phosphore, généralement faible, est plus élevée dans les minerais à hématite que dans les magnétites. C'est le contraire de ce que nous avons observé à Grängesberg, où le calcaire paraissait faire absolument défaut, mais le pendant de ce qui existe à Gellivara.

5° PERSBERG (Wærmland)[1].

La mine de Persberg, exploitée, comme Norberg, depuis le milieu du XIV^e^ siècle, a été longtemps la première mine de fer en Suède. De 1870 à

[1] 1874. Törnebohm. *Karta öfver Berggrunden inom Filipstads Bergslag.* — 1875. *Geognostik Beskrifning ofver Persbergets Grufvefält* (avec carte). — 1897. Walf. Petersson. *Högbergs fältet vid Persberg.* — 1899. Beck. (Zeits. f. prak. Geol., p. 4.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

1890, elle est restée la seconde (après Norberg), avec une production de 40 à 50 000 t.; de 1891 à 1895, on a extrait encore, en moyenne, 31 884 t. par an.

Comme à Norberg, on trouve, au milieu des gneiss et des leptynites (hälleflints), des lits calcaires, avec lesquels le minerai, accompagné de skarn (grenat, pyroxène et épidote), est généralement en relation (fig. 233). Les lentilles de minerai verticales, épaisses au maximum de 50 m., sont réparties sur environ 9 km. de long. La magnétite y domine à peu près exclusivement, avec une proportion variable d'hématite. La teneur en manganèse va de 0,20 à 0,35 p. 100; celle en phosphore ne dépasse pas 0,013. La coupe met bien en évidence les plissements subis par les couches en coupe transversale. En plan horizontal, Walf. Petersson a cru remarquer, conformément à une observation faite plus haut à Gellivara, à Grängesberg, à Norberg, que les amas se trouvaient surtout aux points d'inflexion des couches. Nous avons vu quelle explication on pouvait en donner.

On peut encore signaler, dans le minerai, des veines, généralement parallèles à la direction et dues à un phénomène de dislocation mécanique : veines remplies de débris avec chlorite et serpentine, que l'on retrouve dans les divers gisements de Suède et que les Suédois désignent sous le nom de *sköl*.

6° DANNEMORA (Upsala)[1].

Quand on examine la carte géologique de la région de Dannemora, donnée par Törnebohm (fig. 234 et 235), on y remarque, d'abord, une zone sinueuse de roches cristallophylliennes, qualifiées de hälleflints (porphyroïdes ou schisteux) et d'eurites (ou plutôt de leptynites)[2], avec bancs calcaires associés, qui viennent s'intercaler entre les granites à l'Ouest et les granites gneissiques d'Upsala à l'Est[3]. Dans toute la région de Dannemora, cette zone est N. 10° E. et les couches y offrent, le plus souvent, un plongement Est, tout en étant très redressées. Vers le Sud, cette zone se recourbe presque à angle droit et devient Est-Ouest, avec plongement Nord, en se dirigeant vers Ramhälls.

A l'exception du gisement isolé de Stenring, en relation avec une traînée de leptynites et de calcaires, qui réapparaissent dans le granite gneissique, tous les minerais de fer sont dans cette zone. Les principaux d'entre eux, ceux de Dannemora, sont intercalés et interstratifiés dans les lentilles calcaires; les autres, ceux de Persbo, Slesby, ou Ramhälls, sont dans les hälleflints et dans les leptynites. Nous retrouvons donc là, particulièrement marquée, la diversité des roches encaissantes, qui existe un peu aussi à Gellivara ou Norberg et qui ne laisse pas d'être fort singulière dans l'hypothèse purement sédimentaire.

[1] Voir *Gisements de fer scandinaves*, pl. VIII ; *Gîtes minéraux* (I. p. 714 à 718, bibl.), surtout la description de Törnebohm en 1878, avec atlas de planches.

[2] Voir, p. 428, la définition de ces roches. En France, nous réservons le nom d'eurites pour des granulites compactes, généralement en filons minces.

[3] Il existe, en outre, des massifs de diorite, souvent quartzifères, dont il serait intéressant d'étudier la relation d'origine avec les calcaires.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

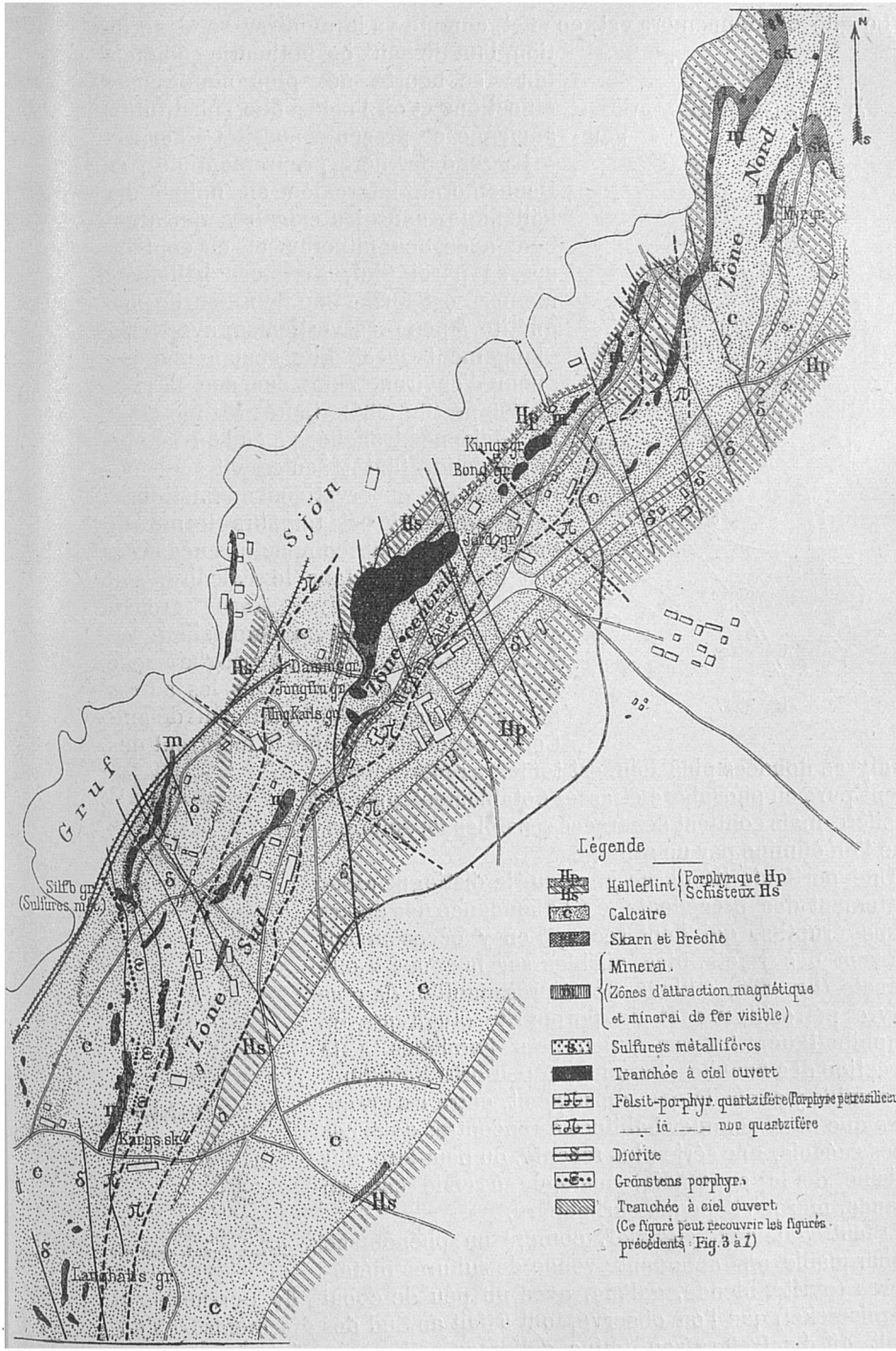


Fig. 234. — Carte géologique de la région de Dannemora, d'après Törnebohm. Echelle au 1/8 000e.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le gîte de Dannemora est, en effet, comme va le montrer sa description, l'un de ceux où la théorie sédimentaire se heurte aux plus nombreuses objections et où l'idée d'une substitution ancienne se présente aussitôt à l'esprit.

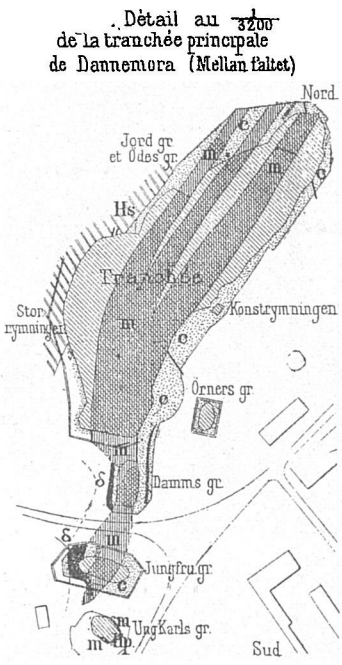


Fig. 235.

La zone ferrifère proprement dite de Dannemora, intercalée au milieu des hälleflints, dans les calcaires qui alternent avec des minerais et en contact, sur sa paroi Sud, avec ces hälleflints mêmes, est formée de lentilles de magnétite à peu près verticales, avec léger plongement Ouest. Elle occupe une longueur d'environ 2 km. sur une largeur de 200 m. (fig. 234), tantôt visible dans les anciennes tranchées à ciel ouvert qui la jalonnent, tantôt seulement soupçonnée par les observations magnétiques.

Le minerai y est toujours formé de magnétite fine et compacte, encaissée, soit directement dans le calcaire, soit dans une brèche avec skarn (grenat, amphibole, actinote manganésifère ou dannemorite, pyroxène), analogue à celle que nous avons trouvée dans les autres gisements suédois. L'hématite fait défaut. Cette magnétite, comme le montrent des analyses données plus loin, est toujours remarquablement pure en phosphore et assez notablement manganésifère, mais contient des traces sensibles de sulfures, que l'on élimine par un grillage.

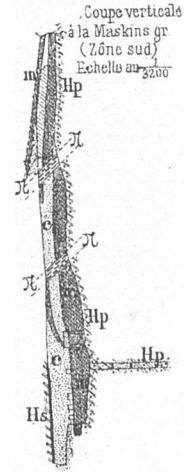


Fig. 236.
(Mêmes figurés que sur la figure 234.)

Une particularité de ce gîte, qui le distingue assez nettement des précédents, est l'abondance des divers filons éruptifs, qui l'ont recoupé en y occasionnant souvent des rejets, bien visibles sur la coupe transversale (fig. 236) : filons de microgranulite, de porphyre pétrosiliceux et de porphyrite (augitique ou amphibolique), les uns à peu près parallèles à la direction des couches, les autres à peu près Nord-Sud. Il semble y avoir là, par conséquent, outre les granulites que nous sommes habitués à rencontrer dans ces gîtes suédois, une série plus récente, ou peut-être plus voisine de la superficie, analogue à celle qui, en France, marque l'époque carbonifère.

Il faut également signaler, comme un phénomène remarquable, une abondante venue de sulfures métallifères (pyrite, blende, galène, avec un peu de cobalt, de pyrrhotine et de mispickel) que l'on observe, tout à fait au Sud des gisements, à l'endroit dit Svafvelgrufvan (mine sulfureuse). En ce point, la zone fer-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rifère, à peu près Nord-Sud, est interrompue par un système N.W.-S.E., qui comprend : d'abord sur 10 ou 15 m, ces sulfures ; puis des diorites, qui traversent les sulfures en filons, tronçonnés par segments ; encore des sulfures et du porphyre pétrosiliceux. La magnétite, au voisinage, est assez fortement imprégnée des mêmes sulfures. Il est possible qu'il y ait eu là une venue sulfurée postérieure aux oxydes de fer et en relation avec ces filons de roches éruptives. On s'est demandé si les traces de pyrite, observées ailleurs dans la magnétite, n'auraient pas elles-mêmes été produites par des filons analogues, au voisinage desquels elles semblent souvent augmenter; mais on peut également penser à l'association de la magnétite avec les sulfures, si fréquente dans les gisements de contact du type Banat. Ce gisement a produit, un moment, jusqu'à 2.000 t. de blende par an. Vers 1895, on était tombé à 400 t.

Enfin la mine de Dannemora est remarquable par les divers minéraux manganésifères que l'on y rencontre : dannemorite (actinote), knébelite (péridot), pyrosmalite (chlorosilicate de fer et de manganèse).

Ainsi que le montre la fig. 235, la venue métallifère n'occupe pas une couche unique, mais se divise souvent en deux ou trois bancs parallèles séparés par des lits calcaires, que recoupent et rejettent de nombreux accidents. L'analyse moyenne des minerais donne :

Tableau 33. — Analyses des minerais de Dannemora

	GROUPE du Nord.	GROUPE du Centre.	GROUPE du Sud.
Fe^3O^4	65,86 (fer : 48,80)	71,25 (fer : 52,44)	72,25 (fer : 53,49)
FeO	1,45	0,71	1,50
MnO	0,89	2,23	2,05
MgO	4,54	5,66	4,14
CaO	7,62	5,20	5,50
Al^2O^3	1,08	1,49	2,60
SiO^2	15,32	9,30	8,90
P^2O^5	0,002	0,005	0,009
S	0,171	0,027	0,038
Perte à la calcination.	2,80	3	1,80
	99,733	98,872	98,787

7° FINLANDE

A *Jussarö*, dans l'archipel Ekenäs, au débouché du golfe de Finlande, il existe, dans l'archéen, une importante zone ferrifère qui, malheureusement, s'enfonce en grande partie au-dessous du niveau de la mer et dont les minerais sont seulement à 38 p. 100.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

8° MOKTA-EL-HADID[1]

A l'Ouest de Bône se trouve la grande zone de minerais de fer à aspect archéen de Mokta-el-Hadid, manifestement substituée à des calcaires dans des conditions d'âge problématiques[1]. Son intercalation dans la série gneissique nous amène à la décrire après les minerais scandinaves. Nous aurions pu également la placer à la suite des gisements de l'île d'Elbe comme accusant la possibilité d'un métamorphisme superposé à une substitution : succession de phénomènes qui a dû certainement aussi, comme nous l'avons dit plus haut[2], intervenir parfois en Scandinavie.

Ces gisements de *Mokta-el-Hadid* (Aïn-Mokra) sont situés dans le département de Constantine, au pied du versant Sud du massif cristallophyllien, qui s'étend de Philippeville à Bône, près du lac Fezarra. Un chemin de fer de 35 km. relie Mokta à Bône, son port d'embarquement, où

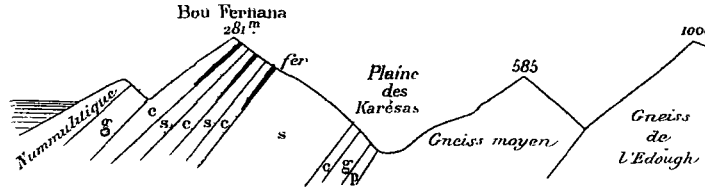


Fig. 237. — Coupe de la région de Mokta-el-Hadid, d'après Parran.
g, gneiss feuilleté supérieur. — *s*, schistes micacés grenatifères, alternant avec cipolins (*c*) et minerais de fer. — *p*, pyroxénite.

se trouve un quai outillé pour charger des vapeurs jusqu'à 4 000 t. à raison de 1 200 t. par jour.

La même compagnie possède, en outre, au voisinage d'Aïn-Mokra, les gisements situés un peu plus à l'Est, de *Karésas* et de *Bou-Hamra,* où elle a exploité également des lentilles nombreuses, mais de faible importance. La production, après avoir été de 430 000 t en 1874, est tombée peu à peu à 127 000 en 1888 et 86 000 en 1900. Le gisement a été fermé en 1904, après avoir produit au total 6 à 7 MT, au lieu des 30 MT annoncés au début par Talabot.

Le gisement de Mokta, composé de fer oxydulé et de fer oligiste massifs, est considéré comme interstratifié, par substitution à des bancs calcaires, dans un terrain de gneiss et schistes micacés, qui d'après Parran, comprend, de haut en bas (fig. 237) : 1° Gneiss feuilletés supérieurs (*g*) ; 2° Schistes micacés et grenatifères, avec bancs subordonnés de calcaire, d'argiles et de minerai de fer (niveau de Mokta) (*s* et *c*) ; 3° Gneiss schis-

[1] Gisement visité en 1891.—Voir Coll. Ecole des Mines, 1915. —1842. Berthier. *Sur la pyroxénite de Bône* (Ann. d. M., 4e, t. 2, p. 493). — 1848. Benoist. *Sur les mines de fer oxydulé des environs de Bône et de Philippeville* (B. S. G. F., 2e, t 5, p. 186). — 1849. H. Fournel. *Richesses minérales de l'Algérie.* — 1854. Coquand (Mém. Soc. géol., 2e, t. 5), — 1875. Rocour. *Notes sur le gis. et l'expl. du minerai de fer de Mokta-el-Hadid* (Cuyper, t. 38, p. 205). — 4 juin 1883. Parran. *Sur les terrains de gneiss des environs de Bône* (Algérie). (B. S. G. F., 3e, t. 11, p. 503). — 1884 Czyszkowski (B. Soc. Ind. Min., p. 282).

[2] Page 421. Rappelons que les gneiss de Mokta-el-Hadid ont pu être considérés par P. Termier comme d'âge très récent.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

teux (*g*), avec amas de pyroxénite (*p*) et autres minerais de fer intercalés entre les bancs de gneiss ; 4° Gneiss glanduleux de l'Edough.

Le gneiss inférieur de l'Edough, souvent glanduleux, renferme fréquemment, ainsi que le gneiss moyen, des enclaves lenticulaires d'une pyroxénite verte massive, essentiellement formée de pyroxène et de grenat, noyée aux affleurements dans une terre rouge. Cette roche, qui est probablement, ainsi que le minerai de fer et les grenats, un produit de substitution, formé par métamorphisme aux dépens de calcaires anciens, renferme, comme éléments accessoires, de la pyrite de fer, du sulfure double d'antimoine et de fer, des cristaux de grenat, etc. Les schistes micacés à lentilles d'oligiste contiennent, pour la même raison, de l'amphibole et du grenat.

C'est dans cet étage des schistes micacés grenatifères que se présentent les lentilles de minerais de fer, associées aux calcaires ou se substituant à eux, surtout près de leur contact avec les schistes imperméables. L'épaisseur de l'étage à minerais de fer et à cipolins est estimée d'environ 300 m. Comme dans tous ces gisements de substitution au milieu

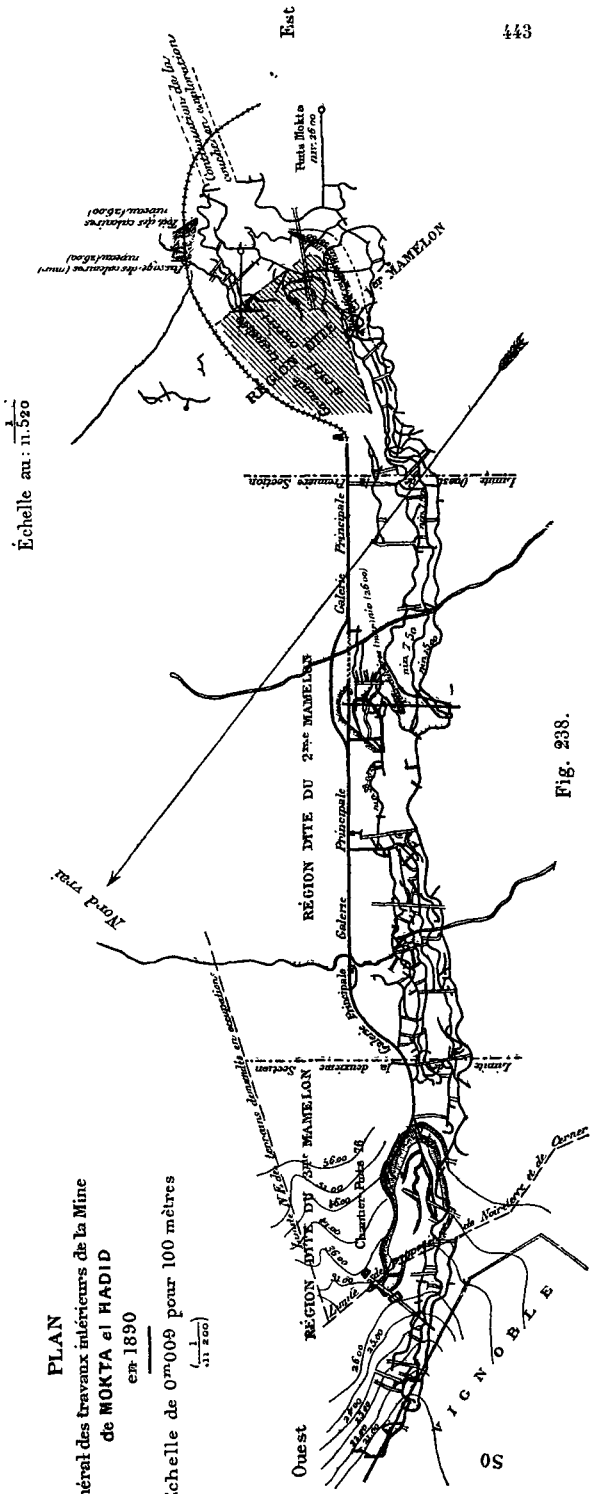


Fig. 238.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des calcaires, le minerai passe au calcaire pur en perdant peu à peu sa richesse en minerai. Il se compose, aux affleurements, d'un mélange intime de fer oxydulé et de fer oligiste massifs, rendant 60 p. 100 de fonte dans le haut fourneau et présentant une teneur de 0,01 à 0,02 de manganèse[1]. Par un phénomène, qui paraît assez général et que nous avons déjà trouvé en Suède, l'oxyde magnétique tend à dominer au voisinage des calcaires, en acquérant une grande dureté. On peut remarquer également la présence de pyrite de fer en veinules dans les calcaires du toit et dans les argiles du mur ; quelques mouches de galène ou de pyrite cuivreuse les accompagnent. C'est l'indice d'une formation profonde sulfurée, dont il est actuellement impossible d'apprécier le rôle, accessoire ou essentiel, dans la formation du gisement. Peut-être faut-il imaginer des minerais de substitution normaux, qu'un métamorphisme, contemporain de la cristallisation même des sédiments devenus des gneiss, aurait transformé en oxydes cristallins. Les minerais pourraient également être un apport de ce métamorphisme[2].

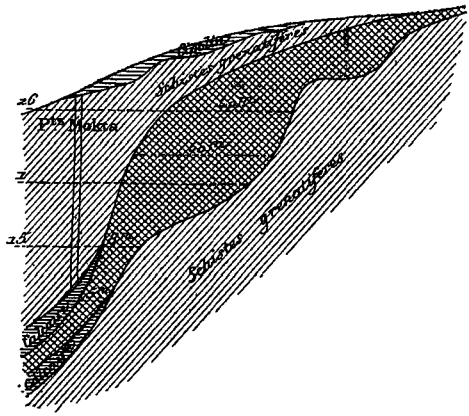


Fig. 239. — Coupe verticale Nord-Sud du gîte de Mokta-el-Hadid.

Parmi les divers affleurements de minerai de fer de la région, le principal, celui de Mokta proprement dit, forme, au milieu des cipolins, une couche assez continue, suivie sur 2 km. de long, avec des élargissements lenticulaires et des amincissements. La forme de l'affleurement (fig. 238), autrefois considérée comme dessinant une courbe concave vers le Nord, paraît, en réalité, à peu près rectiligne.

Le grand amas, ou premier mamelon, d'abord découvert et aujourd'hui complètement dépilé, avait une inclinaison de 30° et 40 m. de puissance (95 m. suivant l'horizontale). 500 m. plus à l'Ouest, on a retrouvé un second mamelon moins gros. Vers l'Ouest, l'inclinaison diminue de plus en plus et l'épaisseur se réduit à 1 m. : ce qui est encore exploitable ; vers l'Est, on est venu buter assez rapidement contre une faille. Une coupe transversale dans la région du premier mamelon (fig. 239) montre la disposition du minerai de fer, intercalé dans sa partie supérieure, entre des schistes grenatifères plus ou moins argileux, souvent

[1] Le manganèse n'est pas disséminé uniformément dans la masse, mais isolé en veines minces qu'on retrouve, au voisinage, dans les schistes.

[2] On a rencontré à Mokta, une poche de chlorure de fer. Jamais on n'y a signalé de sidérose. Dans toute hypothèse, l'association des oxydes cristallins de fer, oligiste et magnétite, avec des sulfures de fer, parfois de cuivre ou de nickel, rarement de plomb ou de zinc, est un phénomène que nous retrouvons dans beaucoup de gisements présentant ce type de profondeur et encaissés, interstratifiés, comme celui-ci, au milieu des terrains cristallophylliens (Suède, Canada, etc.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

un peu discordants avec le gîte, et, en profondeur, se perdant progressivement dans un banc calcaire, qu'il a sans doute complètement remplacé en haut. A la surface du sol, on trouve souvent des fragments de minerai à peine roulés, ou *caillasses,* qui semblent devoir être attribués à la destruction des affleurements et qui ont constitué une bonne partie de la production de la mine.

On distinguait, à Mokta, deux minerais, tous deux mélangés de sesquioxyde et de magnétite : le minerai rouge et le minerai gris. Le gris, un peu moins riche, doit sa couleur au calcaire. Il domine en profondeur et ne contient plus de manganèse. Tous deux sont exempts de soufre et de phosphore. La teneur en titane est à noter et rapproche ce gisement de ceux de la Laponie Suédoise ou du N.-E. des Etats-Unis.

L'analyse d'un minerai à 61,6 p. 100 de fer donne :

Fe^2O^3	88,25	S	0,09 à 0,65
Mn^3O^4	2,50	P	0, à 0,003
SiO^2	6,10	Mn	1, à 6,25
Al^2O^3	1,50	Cu	0,001 à 0,04
CaO	0,45	Titane	1, à 6
Perte au feu	1,90		

9° KRIVOÏ-ROG [1]

Le bourg de Krivoï-Rog se trouve sur la frontière des provinces d'Iékaterinoslav et de Kherson, au confluent des rivières la Saxagane et l'Ingouletz (ce dernier affluent du Dnieper) et forme le centre d'une région de mines de fer qui, après avoir eu une importance croissante depuis 1881, ne paraît plus, dit-on, très éloignée de son épuisement.

Ce district est souvent connu sous le nom de bassin du Saxagane (fig. 240 et 241).

Il est formé d'un système cristallin et plissé de schistes avec intercalations ferrugineuses, que l'on a souvent rattaché au précambrien en se

[1] Voir au t. 1 la carte de Russie, fig. 101, p. 675.— 1839. Koulchine. *Etude géologique sur la province de Kherson* (J. d. M., t. I, p. 29). — 1869. Barbotte de Marny. *Aperçu géologique de la province de Kherson,* pages 93, 96 et 140. — 1873. Strippelmann. *Süd Russlands Magneteisen und Eisenglanzlagerstätte* (Leipzig). — 1876. *Nouveaux gisements de minerai de fer dans le Sud de la Russie* (Cuyper, t. 39, p. 213). — 1877. Nossolf. *Des gisements de fer magnétique dans la Russie méridionale* (Taganrog). — 1878. *Richesses minérales de la Russie d'Europe,* p. 23. — 1880. Kontkiewitch. *Rapport adressé au département des mines sur les mines de Krivoïrog.* — 1884. Cszyskowski (Bul. Soc. Ind. Min., t. 13, p. 292). — 1896. Trasenster. *L'ind. charb. et sidér. de la Russie mérid.* (Rev. univ. min, t. 34, p. 172-194). — 1897. Piatnitzky. *Ueber ein. krist. Schiefer d. Umg. von Krivoïrog* (Mitth. Natur. V. Neuvorpommern, p. 111-148). — 1897. Monkowsky. *Zur Geologie von Krivoïrog* (Z. f. pr. G., p. 374 à 379). — 1898. Macco. *Uebers, der geol. Verh. von Krivoirog* (Z. f. pr. G., p. 139-150). — 1900. Samojiloff. *Form. des gîtes de fer de la Russie centrale* (Bull. des nat. de Moscou, 13 p. en russe). — 1900. Szymanowsky. *Krivoïrog et l'état act. de l'ind. mét. dans le midi de la Russie* (Bul. Ind. min., t. 14, p. 1385-1459). — 1902. J. Cordeweener. *Geol. de Krivoïrog et de Kertsch.* (Paris, avec 19 phot. 4 cartes et bibl.). — 1908. Michalski. *Einige Grundfr. der Geol. von Krivoïrog* (Mém. Com. géol. nouv. sér. t. 32). — 1910. Bogdanovitch. *Iron ore Resources of the world,* p. 501 à 510.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fondant sur son aspect métamorphique, mais dont l'âge réel, peut-être notablement plus récent, est encore tout à fait indéterminé.

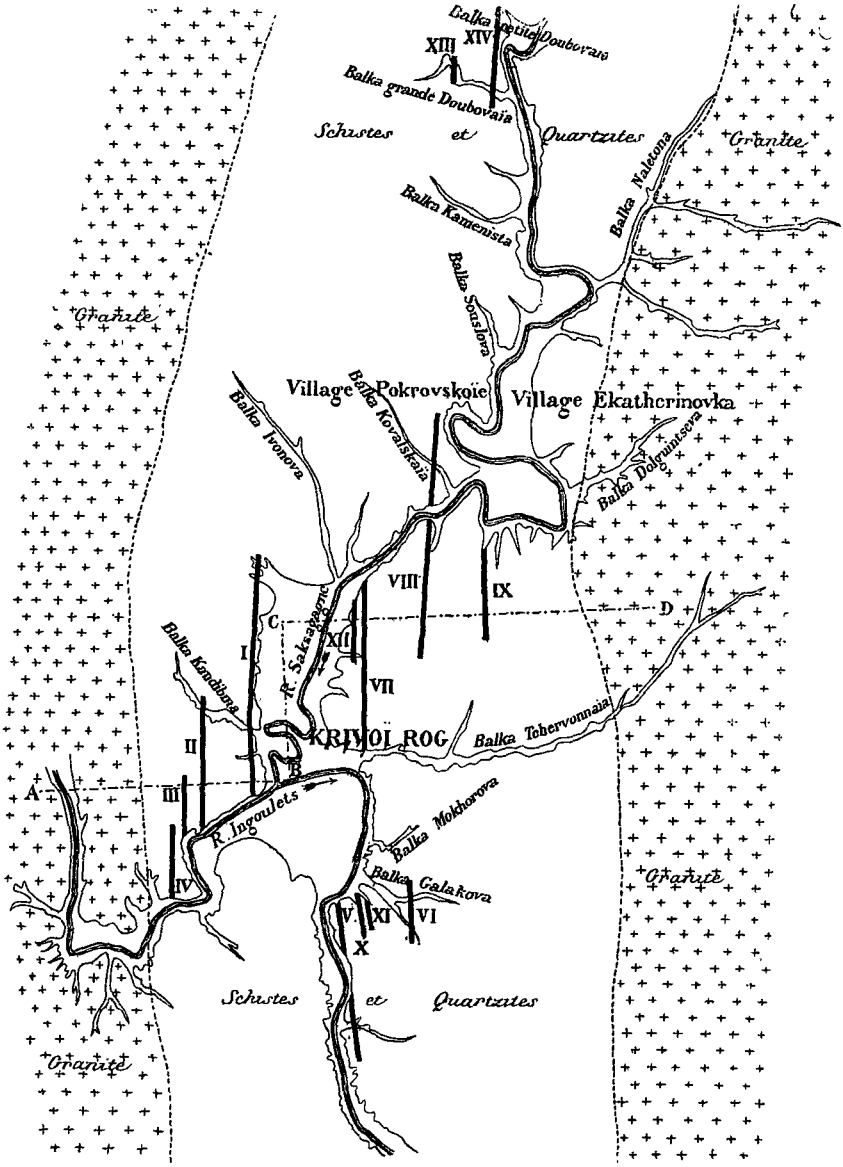


Fig. 240. — Carte des gisements de fer de Krivoï-Rog.

Sur le gneiss et en concordance apparente avec lui viennent, d'abord, des arkoses passant localement à des quartzites et à des quartzophyllades, puis une série ferrugineuse comprenant surtout des quartzo-phyllades

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

plus ou moins ferrugineux à concentrations locales d'hématite avec des talcschistes et schistes chloriteux : le tout couronné par quelques phyllades ardoisiers et des schistes charbonneux. Ces terrains sont injectés de diabase, de diorite et de pegmatite.

Les minerais, sous la forme d'amas d'hématite passant à des quartzites à magnétite, occupent un synclinal N.-S. de 30 km. de long sur 8 km. de large, fortement plissé lui-même à l'intérieur et disloqué, au point que les débris de quartzite y apparaissent parfois dans les schistes avec des allures de conglomérats. Ces minerais, généralement associés à de la silice, sont assez irrégulièrement distribués. On a trouvé de grands amas interstratifiés comme les deux lentilles principales de Krivoï-Rog, l'une de 30 m., l'autre de plus de 80 m. de puissance. Les roches encaissantes, qui passent progressivement au minerai, sont souvent des quartzites, dont chaque grain de quartz renferme un grain de magnétite occupant un volume supérieur à celui de la silice.

On a remarqué, depuis longtemps, le lien des minerais avec des schistes



Fig. 241. — Coupe transversale suivant la ligne ABCD de la figure 240.

à hornblende et avec de la grünerite, qui serait le produit d'une action de profondeur sur des carbonates et qui, à son tour, aurait donné de l'oxyde de fer et de la silice. Certains bancs zonés de quartzite et d'hématite rappellent les jaspilites du Lac Supérieur, dont nous nous occuperons bientôt et ont fait supposer ici l'intervention de réactions analogues. Pratiquement, on exploite de l'hématite rouge à 45-70 p. 100 de fer, très pure en soufre et contenant à peine 0,01 à 0,02 de phosphore, ou de l'hématite brune.

Toute cette région forme une steppe parfaitement unie, déboisée et dont l'uniformité n'est interrompue que par de larges et profonds ravins où affleurent les couches du minerai de fer, reconnues dès le XVIII^e^ siècle (Potemkine projetait d'y fonder des usines), mais en réalité restées inexploitées jusqu'en 1881. Depuis ce moment, l'industrie, très favorisée par la proximité du bassin houiller du Donetz, a pris un grand développement, et des sociétés françaises, belges, anglaises, y ont organisé des usines.

En 1885, l'exploitation de la Compagnie française, portant sur une seule grande lentille de 60 m. de largeur maxima, produisait 30 000 t. et le bassin entier, 112 000 t. En 1894, on est arrivé à 880 000 t. ; en 1900, à 2 700 000 t. ; en 1907, à 3 750 000 t. Le cube des minerais subsistants est évalué entre 70 à 75 MT, pouvant représenter quinze à vingt ans.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

10° GISEMENTS DE FER ARCHÉENS DE L'EST DES ÉTATS-UNIS (New-York, New-Jersey et Pensylvanie).

Nous étudierons bientôt les grands gisements de minerais de fer du Lac Supérieur. Il existe, beaucoup plus à l'Est, quelques minerais intercalés dans l'archéen de la plateforme présilurienne des Alleghany, qui rappellent les gisements scandinaves.

Nous citerons deux districts principaux : 1° district du lac Champlain ; 2° district du haut plateau de New-York et de New-Jersey.

a. **District du lac Champlain.**— Au Nord de l'Etat et entre le lac Champlain et le lac Ontario, dans les gneiss archéens des monts Adirondack, on trouve divers amas de magnétite, quelquefois purs, ailleurs mélangés d'apatite comme dans le principal, celui de Minneville, près Port Henry, qui a 80 à 100 m. d'épaisseur. Ces amas, d'une puissance variable entre 0 m. 75 et 14 m., renferment souvent des lits, en stratification concordante, de roches feldspathiques.

Au Nord, la formation se prolonge vers le Canada et la puissance des amas y augmente notablement : elle atteint 30 m. à Marmora et 60 m. à Newborough.

Le même district des Adirondacks contient beaucoup de lentilles plus ou moins titanifères, atteignant parfois 200 m. de puissance, dont il a été question précédemment [2].

b. **District du Haut plateau de New-York et New-Jersey**. — On trouve, dans ce district, soit des zones chargées de magnétite au milieu des gneiss syénitiques, épousant, sur plusieurs myriamètres de long, les inflexions et les plissements des couches encaissantes, soit des amas de magnétite avec pyrite (Peekskill) soit des associations de magnétite et de franklinite (Franklin) faisant penser à des gîtes de ségrégation ou de

[1] 1869. CREDNER. (Z. d. D. geol. Gesel., t. 21, p. 516, et B. u. H. Z., 1871, p. 369). — 1873. LESLEY. *The iron ores of the South mountain in Pennsylvania* (Am. j., t. 13, p. 3). — 1873. *The Staley's creek and Nick's creek Iron ore region* (Trans. of the Phil. Ac. of nat. sc., 2e, t. 15, p. 33). — 1876. WEDDING. (Z. f. d. B. H. u. S. W. im Pr. St., t. 24, p. 333). — 1880. CH.-E. HALL. *Magnetic iron ores of the Laurentian system in Northern New-York* (In-8°, 10 p. Albany). — 1880-82. WADSWORTH. *A microscopic study of the Cumberland Iron ore from Rhode Island* (Proc. A. A. Boston, t. 21, p. 194). — 1881. EDWIN GILPING. *The limonite and limestones of Picton County* (Proc. and tr. of the nova Scotian ins. nat. Sc., t. 5, part. 1-3. p. 31. Halifax). — 1881. HUNT. *Coal and Iron... (Le charbon et le fer dans l'Ohio méridional.* Boston, in-8° de 152 p.). — 1885. CHAPMANN. *On some iron ores of Central Ontario* (Proc. a. Tr. Soc. of Montreal, t. 3, p. 9). — 1893. KEMP. *Ore deposits of the United States*, p. 123. — 1894. J. SMOCK. *Geol. Survey of New-Jersey, annual report.*— 1894. NASON. *Magnetites of Ringwood* (New-Jersey) (C. R. Z. f. pr. G., , pr. 426). — 1895. MERRIL. *Min. res. New-York State* (C. R. Z. f. pr. G., 1896, p. 279). — 1896. KEM. *Titan. iron ores of Adironda ks.* — 1897. KEMP. *Gis. de magnétite de Port-Henry* (N.-Y.) (Tr. Am. Inst. Chicago meeting fevr.; C. R. Z. p. G., 1897, p. 318). — 1902. CROSBY. *Geol. history of the hematite iron ores of the Antweys and Fowler belt in N. Y.* (Amer. Geol., p. 233-242).

[2] Page 316.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

contact. Le gisement de Peekskill a été peu exploité. Les seules mines de quelque importance, dans cette région de l'Etat de New-York, sont celles de la Forêt de Dean et de Tilly Foster. Dans New-Jersey, on a reconnu, de l'Est à l'Ouest, quatre zones de lentilles : Ramapo, Passaic, Musconetcong et Pequest. Le gisement de Franklin Furnace sera étudié à propos du zinc.

L'amas stratifié de *Peekskill*, à 70 km. au Nord de New-York, atteint une puissance de 25 m. et se détache nettement de la roche encaissante. Il est formé de magnétite à grain fin, avec hornblende et pyrite magnétique ; en profondeur, cette dernière augmente, et l'on voit apparaître, en outre, de la pyrite de fer et de la chalcopyrite.

Le gîte de la *forêt de Dean*, sur la rive droite de la rivière Hudson, est un amas de 20 m. de puissance, au contact duquel la syénite, qui se modifie, est composée principalement de feldspath pur avec épidote vert pistache (pistazite) et veinules de magnétite.

A Franklin et à Sterling (New-Jersey), on trouve de même, dans le gneiss syénitique, et en relation avec des calcaires, des amas de magnétite, de franklinite et de zincite. La franklinite presque pure forme des amas stratifiés, dont la puissance atteint 3 m. Elle est souvent empâtée dans une gangue calcaire avec zincite, willémite, troostite, rhodonite, hornblende, grenat, etc.

11° MINERAIS DE FER DU LAC SUPÉRIEUR [1]

Les minerais du Lac Supérieur constituent la grande ressource en minerais de fer des Etats-Unis : surtout dans deux districts que nous étudierons successivement : l'un au N.-W. du lac dans le Minnesota (Mesabi et Vermilion) ; l'autre au Sud dans le Michigan, à Marquette et Negaunee. Cette région a produit, à elle seule, en 1905, 34, 5 MT dont 20 MT pour les districts de Mesabi (qui date de 1903) et Vermilion Range (1884) et 4 pour chacun des plus vieux districts de Marquette (exploité depuis 1850) et de Menominee (depuis 1877). En 1909, nous avons dit que le total montait à 43 200 000 t. La richesse de ces minerais à 50 ou 60 p. 100 de fer, leurs facilités d'exploitation (souvent à ciel ouvert) et de transport vers les centres métallurgiques leur ont assuré une suprématie, qui rend leur étude théorique particulièrement intéressante.

Géologie générale. — Cette région, dont nous aurons également à étudier plus tard les minerais de cuivre, est, on le sait, l'une de celles où la série antérieure au cambrien, que l'on divise aujourd'hui en archéen et algon-

[1] 1895. Smith et Finlak. *Geol. structure of the western part of the Vermilion Range* (Tr. Am. Inst., oct.). — 1900. Head. *Les mines de fer du Lac supérieur* (Rev. univ., t. 50, p. 52-85). — 1900. Chance. *The Iron mines of Hartville* (Wyoming) (Am. I. of M. E. Canadian meeting, 17 p. et 1 carte). — 1900. Van Hise. *The iron-ore deposits of the Lake region* (21e ann. Rep. of U. S. geol. Surv. part. III, p. 305-434). — 1900. Bachellery. *Les minerais de fer du Minnesota* (Ann. d. M. 9e, t. 18, p. 154 à 212, avec bibl.) — 1902. Winchell. *Sketch of the iron ores of Minnesota* (Amer. geol., p. 154 à 162). — 1902. Leith. *Min. de fer du Mesabi* (Iron Age, 23 oct.). — 1902. Spurr. *The orig. source of the Lake Superior Iron ores* (Amer. geol., p. 335-349). — 1911. Van Hise et Leith. *The geol. of the Lake Superior Region* (Am. St. geol. S. 640 p.). — Voir t. 2, p. 275.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

kien (précambrien), est le mieux représentée, avec une discordance caractéristique entre les deux groupes accusant l'antériorité réelle de cet archéen au précambrien et un mouvement intermédiaire. Il s'agit donc bien ici, suivant toutes vraisemblances, d'une formation particulièrement ancienne, et non pas seulement d'une formation ayant été ramenée en profondeur par des mouvements tectoniques. Les minerais de fer se trouvent à deux niveaux principaux dans l'archéen et la base du précambrien (huronien), les minerais de cuivre dans la partie supérieure du précambrien (keweenavien).

Les terrains forment là un vaste synclinal N.-E., dans lequel on trouve, de bas en haut, les séries suivantes :

1° Dans la série *archeenne* ou *ontarienne*, on a quelquefois établi une subdivision inférieure de gneiss, micaschistes parfois grenatifères et amphibolites et une série supérieure à roches vertes, dite *Keewatin*. C'est dans le keewatin, formé de schistes verts chloriteux, tufs volcaniques métamorphisés verdâtres et serpentines, que se trouvent les minerais de fer du *Vermilion Range* en Minnesota et le niveau inférieur de *Marquette*. Cet ensemble est recoupé par des granites, que l'on avait d'abord assimilés aux gneiss archéens du Canada et relativement très métamorphisé, avec fausse stratification. Ses bouleversements accentués contrastent avec les faibles ondulations du précambrien, que nous allons trouver ensuite.

2° En discordance sur la tranche du Keewatin, ou sur le granite, vient le groupe souvent appelé *taconique* ou *algonkien*, qu'il est préférable de nommer *precambrien*, avec ses deux divisions du Huronien à la base et du Keweenawien au sommet, séparées elles aussi l'une de l'autre par une discordance incontestable, sans compter les discordances intérieures du Huronien qui mettent en relief l'immensité de temps et la complexité des phénomènes tectoniques accomplis pendant cette période précambrienne, où le manque de fossiles nous empêche d'établir des subdivisions précises. On a, dans le huronien, distingué de bas en haut trois termes : *a*) quartzites de Pewabic ; *b*) minerais de fer de Mesabi, Marquette supérieur, Menominee, Penokee-Gogebic ; *c*) schistes ardoisiers ; le tout présentant des aspects qui, dans nos pays correspondent plutôt au silurien qu'au précambrien. Des minerais de fer y forment plusieurs couches successives[1]. Postérieurement à eux, les plissements se sont continués, mais en s'affaiblissant. Les pentes, qui ne dépassent guère 15 à 20°, sont souvent presque insensibles.

3° Par-dessus le tout, et de nouveau en discordance sur le huronien, vient le *keweenawien* cuprifère, avec gabbros, porphyres, diabases, etc., dont Iddings a, non sans exagération probable, évalué l'épaisseur à 14 km Après un dernier mouvement à larges ondulations, qui l'a influencé à son tour et qui a produit le synclinal du Lac Supérieur, la région, on le sait, s'est définitivement stabilisée en ce qui concerne les plissements, et tous les terrains, depuis le cambrien inclusivement, qui ont pu s'y déposer par transgression, sont demeurés horizontaux.

Il y a lieu, aussi bien pour le fer que pour le cuivre, de mettre en évidence un point très intéressant pour toutes nos théories : c'est le rôle considé-

[1] A Cayeux a récemment annoncé y avoir trouvé, dans les minerais hurons, des indications de tiges d'encrines avec structure cellulaire très apparente. (C. R., 6 nov. 1911.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rable joué, dans toute cette région, par les circulations d'eaux descendantes et superficielles, auxquelles est due ici la concentration du fer, auxquelles nous attribuerons également plus tard, jusqu'à une profondeur tout à fait inusitée, l'allure actuelle des gisements de cuivre.

Nous aurons l'occasion de dire bientôt que des fragments d'hématite ayant déjà subi une altération superficielle se trouvent à Mesabi englobés dans une faille d'âge keweenawien. Divers autres indices concordent pour montrer que l'on est ici en présence d'une zone ayant déjà occupé, à cette période si ancienne, une position superficielle dans l'écorce, et ayant alors formé un continent émergé, soumis aux influences météoriques. En réalité, les grands plissements de ce pays étaient terminés avant la fin du huronien. Ceux qui leur ont succédé avant et après le keweenawien, ont un peu l'allure de plis posthumes et ont été accompagnés surtout d'accidents verticaux, dout le principal, dans le Minnesota, porte le nom de soulèvement du Victoria. Les déplacements verticaux dans les deux sens ont dû jouer un rôle important à partir de cette époque et avoir eu pour résultat d'enfoncer suffisamment certains blocs de terrain pour que, malgré l'érosion subie depuis lors, ils aient été conservés jusqu'à nous et soient même encore parfois au-dessous de la superficie actuelle. C'est peut-être pourquoi, dans toute cette région, on constate, dans des mines profondes comme celles de cuivre, la prolongation de certaines formes d'altération, d'ordinaire localisées près de la surface, et pourquoi aussi l'archéen s'y trouve subsister, tout en gardant un facies moins métamorphique que bien des terrains plus récents, devenus ailleurs cristallophylliens.

Allure des minerais. — Tout l'ensemble complexe, que nous venons d'énumérer, représente, suivant toutes vraisemblances, d'anciennes formations de schistes, grès, calcaires, minerais de fer, etc., entièrement transformées par métamorphisme, avec intrusion ancienne de roches éruptives, devenues elles-mêmes méconnaissables, et les facies actuels tiennent beaucoup moins à des différences originelles de sédimentation qu'à des effets divers du métamorphisme. Ce dernier phénomène n'a cependant pas été porté en général jusqu'à la gneissification et la série du Lac Supérieur a gardé, en partie, les anciens aspects de grès ou quartzites, schistes, conglomérats, etc., qui en accusent le caractère sédimentaire. En même temps, les minerais n'ont pas pris l'aspect uniformément cristallin que nous avons rencontré en Scandinavie ou dans l'Est des Etats-Unis. Mais ce qui en fait surtout le caractère distinctif, c'est l'influence d'une métasomatose, qui s'est continuée depuis les temps les plus anciens jusqu'à nos jours et superposée à diverses reprises aux effets du métamorphisme de profondeur. Les minerais, qui, selon nous, ont commencé par être des sédiments oolithiques, comme les minerais secondaires de Lorraine, ont dû subir bientôt, avant même de cristalliser, une longue remise en mouvement continentale accompagnée de substitutions latérales dans des calcaires en rapport avec l'émersion si ancienne de ces pays. Cette même influence a repris plus tard après les derniers plissements et il en est résulté une concentration progressive du fer, dont il est difficile, dans l'état actuel des minerais, de reconstituer exactement les phases. En deux mots, les minerais les plus anciens, ceux du Vermilion, se présentent à

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'état de « jaspilites » avec alternances de silice et d'hématite parfois bréchiformes ou plissées et, dans le district de Maquette, on retrouve également cette association d'hématite en amas et veines avec des formations siliceuses qui nous paraissent être la silicification d'anciens sédiments, peut-être en très grande partie calcaires. Ceux de Mesabi ont la forme d'une hématite finement cristalline en profondeur, mais tellement pulvérente et sableuse à la surface qu'il en résulte, avec des facilités d'extraction spéciales, une gêne au haut-fourneau.

Vermilion Range. — Nous avons, jusqu'ici, rapproché les uns des autres divers gisements qui, outre leur éloignement géographique atteignant

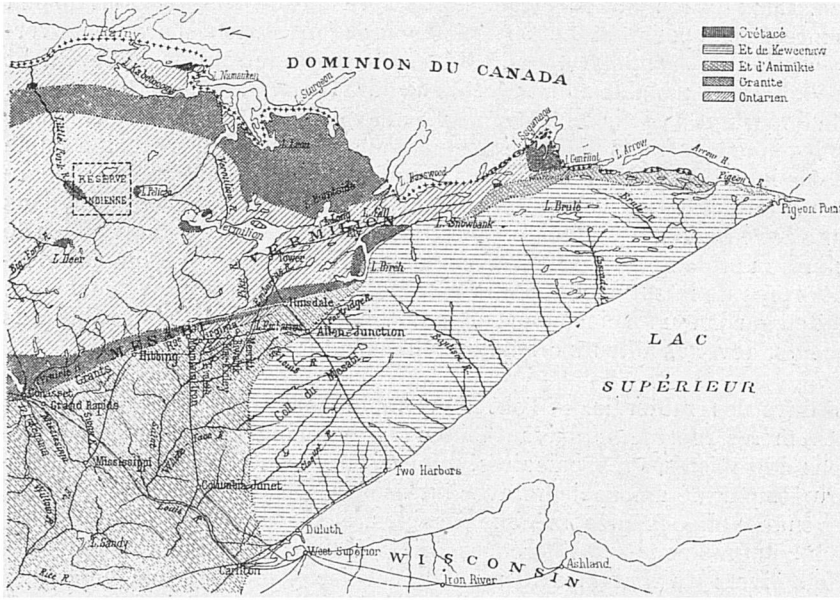


Fig. 242. — Carte géologique du Minnesota septentrional.

400 km. de Vermilion ou Mesabi à Marquette, n'appartiennent pas au même étage géologique; il convient maintenant de les étudier isolément, avant de donner sur leur formation quelques conclusions générales.

On appelle Vermilion Range (fig. 242) une zone large de 10 km. environ, entièrement située dans l'archéen, où, dès 1860, les prospecteurs furent attirés par la découverte de quelques gisements aurifères, mais où l'exploitation du fer ne remonte qu'à 1884. Les deux centres principaux sont Tower (mine Minnesota) et Ely, où, depuis 1888, on a attaqué les mines Chandler, Pioneer, Zenith. Les gisements y sont formés (fig. 243) d'amas ou lentilles renfermant une roche rubanée que l'on a appelée jaspilite, encaissée au milieu des schistes. Ces lentilles peuvent atteindre 2 km. de long, et leur dureté plus grande les a fait rester en saillie pendant les érosions glaciaires. Elles sont limitées en tous sens et allongées parallèlement à la direction des couches encaissantes, dont elles sont parfois

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

séparées par une interposition d'argile siliceuse rouge, nommée paintrock, tandis qu'ailleurs le passage se fait graduellement par imprégnation de silice et de fer. A l'intérieur de ces jaspilites elles-mêmes, l'hématite forme à son tour des bandes lenticulaires de dimensions en somme assez restreintes, alternant avec des zones de silice stérile : bandes orientées en général parallèlement aux schistes encaissants, mais souvent flexueuses ou plissées comme ces terrains eux-mêmes, avec passages de la silice à peine teintée par un peu de fer à de l'hématite pure.

Par exemple à Tower, deux veines d'hématite de 12 à 45 m. d'épaisseur sont séparées, à l'Ouest, par une bande de jaspe de 400 à 500 m. qui disparaît à l'Ouest. La plus grande de ces colonnes a été suivie sur 300 m. de long et 250 m. de profondeur. A Ely, un amas de 250 m. de long à l'affleurement prend plus bas l'allure d'un prisme oblique à base carrée de 100 à 150 m. de côté, incliné à 45°. Le minerai y est bréchiforme avec enduits de gœthite. A Zénith, la bande ferrugineuse n'a que 100 m. de long et 15 m. de large.

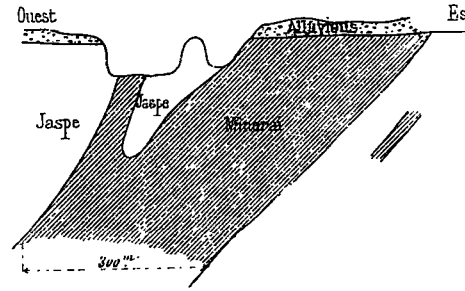


Fig. 243. — Coupe longitudinale de la mine Minnesota.

Il résulte de là des minerais remarquablement riches à 60-65 p. 100 de fer, avec un peu de silice et d'alumine introduite en proportions variables par la roche qualifiée de jaspe. Certains de ces minerais sont propres au Bessemer. D'autres, en assez grande quantité, ne sont utilisables que pour fonte Thomas. La teneur en phosphore qui forme la limite est de 0,05 p. 100. Cette teneur en phosphore est extrêmement variable. Par comparaison avec ce que nous avons vu en Scandinavie, nous remarquerons cette teneur sensible en phosphore, analogue à celle de divers minerais suédois également encaissés dans une gangue siliceuse, tandis que nous avons, d'une façon générale, trouvé, en Suède, les minerais purs dans un terrain calcaire. La proportion de phosphore varie, non seulement d'une veine à l'autre, mais d'un point à l'autre.

Mesabi Range. — La région minière de ce groupe est le Mesabi occidental, le long des collines du Giants Range. Le huronien moyen ferrifère y est intercalé entre des quartzites et des schistes ardoisiers, avec une épaisseur de 150 à 300 m. Il est constitué de roches hétérogènes comprenant des schistes, grès ferrugineux, etc., avec passage progressif à une sorte de roche dite taconite, qui est généralement un agrégat de grains arrondis ou anguleux de silice, magnétite, et altérations ferrifères diverses et qui elle-même passe à des concentrations de fer lenticulaires. On voit mieux ici que dans le Vermilion l'effet d'une transformation ultérieurement exercée sur des bancs sédimentaires, qui, dans les deux cas, y a introduit, à des degrés variables, des concentrations de silice et de fer, arrivées dans le Vermilion à un degré tel que tous les autres éléments

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ont disparu. Le passage de la taconite au minerai a d'ordinaire lieu par transitions. Certains bancs se chargent d'oxyde de fer en donnant un grès à paillettes d'oligiste alternant avec des lits de jaspe rougeâtre, qui, à leur tour, disparaissent. Par exemple, à la mine Mountain-Iron, où se trouve le plus vaste découvert du bassin, on a reconnu un amas de minerai ayant 1 000 m. de long sur 400 m. de large. Nous observons encore, par comparaison avec la Scandinavie, que l'on peut, dans une certaine mesure, rapprocher les leptynites et hälleflints associés aux minerais suédois des « jaspes » nord-américains.

Pratiquement, ces minerais sont exploités presque uniquement à ciel ouvert au-dessus du niveau hydrostatique, et leur allure dépend essentiellement des altérations récentes en rapport avec la circulation des eaux au-dessus de ce niveau. Généralement on trouve, d'abord, au-dessus, sur 3 à 4 m. au plus, une couche d'argile siliceuse, parfois blanche, souvent ocreuse, assimilée au paintrock du Vermilion. Puis vient, sur une profondeur ordinaire de 50 m., un sable ou poussière impalpable de couleur grise ou brune représentant l'altération d'une hématite finement cristalline, à concrétions de goethite, qui constitue la forme plus profonde.

Ces minerais sont des hématites riches, un peu moins pourtant que celles du Vermilion (55-60 p. 100 de fer) et ayant le défaut d'être pulvérulentes. Elles sont remarquablement pures en soufre, comme cela arrive d'ordinaire pour des minerais ayant été soumis à une altération aussi avancée. Le phosphore y existe toujours en quantités appréciables, mais sans dépasser pourtant la teneur limite des minerais Bessemer.

Origine des minerais du Minnesota. — Avant de passer aux minerais de Marquette, un peu différents des précédents et d'ailleurs géographiquement indépendants, il faut revenir sur l'origine de ces minerais. On a donné, à leur sujet, les explications les plus diverses : éruptivité des minerais eux-mêmes et des jaspes, pour Wadsworth (1880) ; sédimentation alternée de sels de fer et de silice gélatineuse dans un océan agité par des volcans sous-marins et soumis à des dégagements d'acides énergiques, pour Winchell (1889) ; imprégnation ultérieure de bancs calcaires par des sels de fer d'origine filonienne (comme on l'a également supposé en Meurthe-et-Moselle), dans une première théorie d'Irving (1886). Nous préférons à ces hypothèses qui invoquent des phénomènes éruptifs profonds plus qu'hypothétiques, une théorie, où ces gisements se trouvent rapprochés de tous ceux qui seront étudiés ultérieurement, avec une grande part attribuée à des phénomènes de métasomatose sur lesquels nous ne cessons d'insister dans cet ouvrage.

On peut, à notre avis, se représenter, soit dans une série schisteuse à Vermilion, soit, au Mesabi, entre un dépôt de grès et un dépôt de schistes devenus plus tard ardoisiers, par conséquent dans une série stratigraphique identique à celle qui caractérise par exemple les mines de Normandie entre les grès à bilobites et les schistes d'Angers, le dépôt de strates oolithiques, soit immédiatement ferrugineuses, soit d'abord calcaires et presque aussitôt chargées de fer dans les mêmes conditions que tous les autres minerais sédimentaires étudiés plus loin. Ces couches auraient plus tard été l'origine de toutes les concentrations, antérieures ou

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

postéricures au métamorphisme igné, dont elles portent la trace. Dès le huronien et le keweenawien, des eaux, infiltrées le long d'une telle couche ferrifère, comme il continue à s'en infiltrer encore, ont eu pour effet de séparer les éléments chimiques par ordre de solubilité et de redéposer certains d'entre eux en profitant, soit des lits de stratification, soit des joints. Ainsi ont été concentrés le fer et la silice, qui sont les corps les plus stables d'une telle formation, tandis que s'éliminaient au contraire peu à peu ce qu'il pouvait y avoir de calcaire, et peut-être aussi une portion de l'alumine.

On sait aujourd'hui, par les travaux de Coleman[1], que le début du huronien a été marqué, dans ces régions, par une glaciation intense, comparable à celle qui, au début de la période actuelle, a de nouveau recouvert les gisements de fer de moraines glaciaires. On en retrouve notamment les traces dans l'Ontario, au Canada. C'est un indice de plus à ajouter à tous ceux qui nous font présumer ici, à cette époque reculée, un ensemble de phénomènes continentaux avec érosions, circulations d'eaux souterraines et superficielles, etc. La taconite représenterait alors une transformation incomplète, ayant laissé à la roche primitive sa composition chimique moyenne. Ailleurs, la concentration plus accentuée aurait donné : d'un côté, le paintrock, mélange de silice et de kaolin presque pur ; de l'autre, les amas de minerai de fer, également presque complètement épurés ; enfin, comme intermédiaire, la « jaspilite » avec ses lits alternants de silice et d'hématite. Tout cela serait à rapprocher des concentrations continentales que nous étudierons dans un paragraphe ultérieur[2], avec les silicifications, les formations de fer en grains et même les accumulations phosphatées, dont les époques plus récentes nous offrent des spécimens si nets.

En faveur de cette idée on peut remarquer que les concentrations donnant les plus grandes épaisseurs de minerai connues apparaissent le long des failles, comme celle de Virginia, où ont toujours dû se produire des zones d'infiltration. C'est dans cette faille de Virginia, d'âge keweenawien, qu'a été constaté, comme nous l'avons dit, l'englobement d'hématite déjà formée, ayant par conséquent déjà subi l'effet de la concentration précédente. D'autre part, les altérations ont repris après les dernières érosions qui ont déterminé la topographie actuelle et il a pu se produire alors, sous l'action de ces dernières eaux descendantes, une accentuation de la concentration en fer. L'ordre de superposition constant du Mesabi place le minerai à la base de la zone altérée sur le quartzite imperméable, sous le paintrock de silice et kaolin : ce qui, Spurr l'a observé, correspond bien au processus d'eaux descendantes. Dans l'intervalle l'altération, commencée dès le keweenavien, s'est continuée pendant le crétacé, comme le montrent quelques conglomérats de cet âge, où des éléments de gisements huroniens sont cimentés par de la limonite.

Minerais de Marquette, Menominee, etc.[3]. — Au Sud du lac Supérieur

[1] 1898. *The lower huronian ice age* (Journ. of geol., t. 16, p. 149-158).

[2] Tome 12, page 505 à 522.

[3] Ecole des mines, 1600. — 1875. SAUVAGE. *Sur les minerais de fer du lac Supérieur* (Ann. d. M.). — 1876. WEDDING. (Z. f. d. B. H. u. S. im pr. S., t. 24, p. 345). —

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et à l'Est des gisements de cuivre, qui seront décrits plus tard en détail, on retrouve une importante série ferrifère dans des terrains de quartzites, schistes, dolomies, etc., d'âge huronien (fig. 244).

Beaucoup plus anciennement connus et étudiés que les gisements du

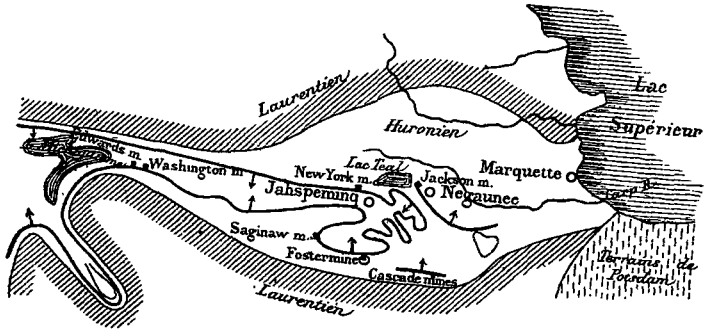


Fig. 244. — Carte du district minier de Negaunee (Lac Supérieur), d'après H. Wedding. Affleurement hypothétique de la couche.

Minnesota, ceux de Marquette ont donné lieu à un nombre de théories encore plus considérable, dont la comparaison marque surtout l'extrême difficulté d'arriver à comprendre et à concilier toutes les particularités de formations énigmatiques.



Fig. 245. Coupe montrant l'allure des minerais de Marquette, d'après van Hise.

Si nous commençons par les faits bien établis, on peut dire que l'on a ici, dans un long synclinal de 65 km. de long, sur 2 à 5 km. de large, une série huronienne de quartzites, dolomies, schistes verts, jaspes et minerais de fer, avec recouvrement de Keweenawien : le tout très fortement plissé et disloqué. Une série inférieure, avec schistes verts et roches acides, est recouverte en discordance, d'après Irving, par la série ferrugineuse. Les minerais, associés à des quartzites et jaspes comme dans le Vermilion Range, forment des zones lenticulaires parfois repliées, sur elles-mêmes (fig. 245 et 247). On y voit de la magnétite, de l'oligiste (minerais durs) peut-être dérivé de cette magnétite, et des altérations superficielles d'hématite brune (minerais tendres).

Après avoir d'abord considéré l'origine de ces minerais comme uni-

1880. E. Wadsworth. *Notes on the geology of the Iron and Copper districts of Lake Superior* (Bull. of the Mus. of comp. Zoology. Geol. Ser., n° 1. Cambridge (Etats-Unis). — 1880. E. Wadsworth. *On the origin of the Iron ore of Marquette district, Lake Superior* (Proc. A. A. Boston, t. 20, p. 470). — 1892. Van Hise. (Am. J. of Sc., fév.). — 1893. Kemp. *Ore deposits*, p. 102 et bibl. p. 106. — 1897. Van Hise et Bayley. *The Marquette Iron-Bearing District of Michigan, with atlas. Washington* (U. S. geol. Surv. monog. 28). — 1898. J.-E. Jopling. *The Marquette Range, its discovery, development and resources* (Trans. Am. Inst. min. Eng., t. 27, p. 541-555). — 1902. E. Spurr. *The original Source of the Lake Superior Iron ores* (Am. geol., juin, p. 335). — 1892. Irving et van Hise. *The Penokee Iron-bearing series of Michigan and Wisconsin* (U. S. geol. Sur. monograph, 534 p. et 37 pl.). — 1897. Winchell. *The Lake Superior iron-ore region* (Fed. Inst. of min. eng.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

quement sédimentaire, on a attribué, d'après des observations de Van Hise, une part de plus en plus marquée à des concentrations secondaires ayant pu commencer très anciennement : concentrations, dont résulte l'accumulation fréquente du minerai dans des schistes-jaspes suivant certains contacts, soit avec des dykes de diabase, soit avec d'autres schistes.

L'origine première serait dans des strates ferrugineuses ayant pris aujourd'hui l'apparence de quartzites ; mais il y aurait eu remise en mouvement par les eaux de surface, avec pénétration de silice et d'oxyde de fer dans des terrains voisins, qui ont pris l'allure de jaspes à hématite ; et ces réactions, en rapport avec des circulations aquifères, auraient été, comme d'habitude, favorisées par le contact des roches ayant une compacité différente. C'est à ces influences que serait due une localisation ordinaire des minerais dans des cuvettes formées par le plissement des terrains ou par la disposition des roches éruptives : localisation qui serait

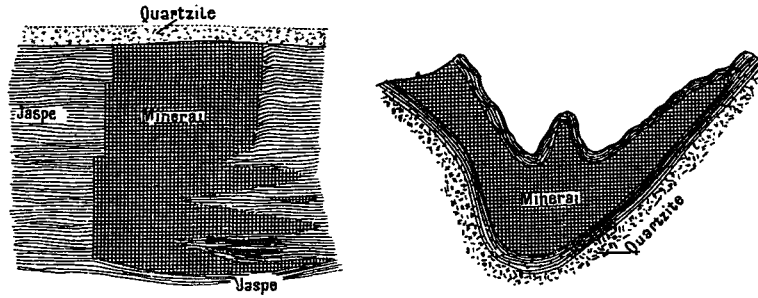


Fig. 246 et 247. — Coupes transversales du gisement de Marquette, d'après Van Hise.

inexplicable s'il y avait eu un simple dépôt sédimentaire. C'est ce qu'illustre notamment la figure 247.

Van Hise a distingué les cas suivants : 1° dépôts au contact d'un conglomérat de base ; 2° dépôts sur une stéatite savonneuse dérivant d'une diorite sous-jacente ; 3° dépôts le long de dykes intrusifs qui recoupent la série ; 4° dépôts dans les roches jaspeuses, semblant s'être substitués au terrain, tantôt suivant tous les plissements internes, tantôt formant des amas avec pénétrations interstratifiées latérales. De l'Est à l'Ouest, on a d'abord des limonites d'altération, puis des hématites spéculaires, puis de plus en plus de magnétite.

On a parfois supposé (Wadsworth) que les minerais pouvaient dériver des roches intrusives comme des minerais de contact ; mais d'autres géologues ont fort justement objecté qu'au contact de roches essentiellement basiques n'auraient pu se former des minerais, dont la caractéristique est leur gangue siliceuse, sans qu'il y eût eu combinaison. On a également (Reyer) cherché autrement, dans ces roches éruptives, l'origine des minerais qui leur auraient été empruntés par lessivage. Mais la première origine sédimentaire paraît la plus vraisemblable.

Le district de *Menominee*, situé à une soixantaine de kilomètres plus au Sud, sur le Michigan et le Wisconsin, rappelle la série infé-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rieure de Marquette. Les minerais (fig. 248) y occupent deux ou trois niveaux dans le groupe de Quinnesee, formé de schistes siliceux et jaspés, de micaschistes et de quelques calcaires, ou à la base de ce groupe, près de son contact avec une série de calcaires siliceux sous-jacents. Il existe, par exemple, des lentilles intercalées dans les schistes et inclinées comme eux, dans lesquelles le minerai passe en profondeur à un jaspe. La décomposition superficielle en limonite est très accentuée.

Enfin le district de *Penokee-Gogebic*, à 15 ou 30 km. au Sud du Lac Supérieur, présente des strates moins métamorphiques que dans les cas précédents (calcaire siliceux à la base, puis schistes, quartzites, minerais, cherts ferrugineux et schistes ardoisiers) : le tout traversé par des dykes éruptifs. Pour Van Hise, il y a eu concentration ferrugineuse dans une sorte de thalweg angulaire formé par des quartzites plongeant au Nord et un dyke plongeant au Sud. Dans ce thalweg à parois

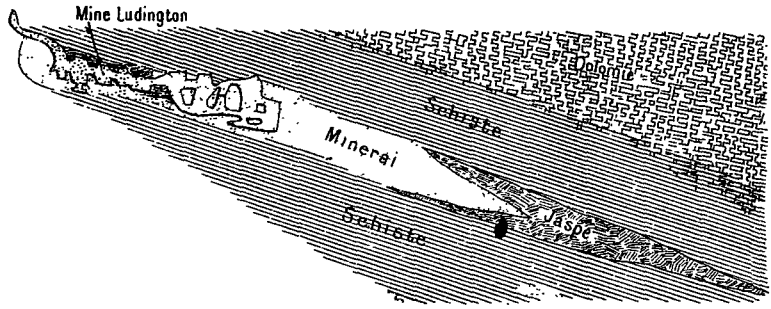


Fig. 248. — Plan du gite de Ludington. District de Menominee (Michigan), d'après P. Larsson.

compactes se serait produite la concentration du fer, emprunté à des bancs ferrugineux et substitué partiellement à des calcaires. Ce groupe avait produit, jusqu'en 1891, plus de 8 MT de minerais.

Industrie. — Nous avons dit, en commençant, la très grande importance industrielle de ces districts du Lac Supérieur, qui fournissent pratiquement à peu près tout le fer des Etats-Unis. L'exploitation du Mesabi et de Marquette est en grande partie superficielle, avec emploi très développé des moyens d'extraction mécanique qui donnent un prix de revient faible. Au Vermilion, on est forcé de travailler souterrainement. Le maximun du prix de revient à ciel ouvert est de 1,25 fr. tandis qu'on ne descend guère au-dessous de 2,50 fr. par tonne dans les exploitations souterraines. Les transports au port coûtent de 4 à 5 fr. Puis on fait les expéditions par des bateaux constituant aujourd'hui une flotte immense et atteignant 7.000 t. Ces bateaux qui vont, soit à Chicago, soit dans les ports du lac Erié, rapportent du charbon comme fret de retour. Le marché du minerai de fer est surtout à Cleveland. Le cours est d'environ 0,25 fr. par unité pour les hématites compactes du Vermilion ; il varie avec la teneur en fer et avec la proportion de phosphore[1].

[1] Nous avons donné plus haut, p. 275, les évaluations du tonnage.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

12° ITABIRITES DU BRÉSIL[1]

Il faut regarder comme un facies de métamorphisme, plutôt que comme un type sédimentaire d'un âge déterminé, les couches ferrugineuses, auxquelles on donne le nom d'itabirites au Brésil et dont on retrouve l'équivalent en Caroline du Sud, au Canada, à Sutton : dans le dernier cas, associé avec du silurien métamorphique. Ces itabirites, qui ont une grande extension et qui pourront donner lieu un jour à une exploitation importante, sont des grès à oligiste et à martite, associés avec des schistes micacés et avec des intercalations de calcaires cristallins, le tout recouvert par les quartzites d'Itacolumy et peut-être précambrien. Il y aurait probablement lieu d'étudier dans quelle mesure certaines de ces itabirites ont pu résulter de la transformation d'imprégnations pyriteuses. On y trouve très souvent de l'or, qui paraît aussi dériver de semblables pyrites. Ce n'est pas la seule analogie qui les rapproche de la série ferrifère d'Hospital Hill à la base des conglomérats aurifères du Witwatersrand.

13° GISEMENTS A ALLURE CRISTALLOPHYLLIENNE DU CENTRE AFRICAIN

Après avoir étudié les minerais de fer de Scandinavie, du Lac Supérieur, du Brésil, il était naturel d'en chercher l'équivalent moins connu dans d'autres provinces métallogéniques à tectonique analogue, et, par exemple, dans la grande masse du continent africain, où un retour en profondeur, d'âge, tantôt précambrien, tantôt post-silurien, suivi d'une longue érosion continentale, a amené la mise au jour très générale de terrains ayant pris un facies cristallophyllien, ou du moins fortement métamorphique. On retrouve, en effet, comme nous l'avons montré ailleurs, dans le socle si étendu de ces terrains métamorphiques, les deux types métallifères principaux de la Scandinavie : les grandes couches ou amas d'oxydes de fer cristallisés et les amas pyriteux, parfois cuprifères, ou aurifères. Certains de ces gisements semblent avoir subi une altération ancienne analogue à celle que nous venons de rencontrer au Lac Supérieur. Nous nous contenterons de signaler le groupe, qui paraît le plus important, celui du Katanga[2].

Dans ce pays du *Katanga*, à l'Ouest du lac Bemba, maintenant accessible par voies ferrées, il paraît exister, comme nous le verrons, d'importants gisements sulfurés de pyrites de fer et de cuivre, sous forme de masses interstratifiées dans des schistes siliceux ou calcaires, de lentilles, d'imprégnations, etc. On trouve, en même temps, soit par une transformation secondaire (en tous cas très ancienne) de ces gisements sulfurés, soit plutôt par une formation connexe, comme cela paraît être le cas en Scandinavie et au Canada, de grands amas de magnétite et

[1] 1884. P. DE OLIVEIRA. *Estudos siderurgicos na Provincia de Minas Geraes* (Ann. da Esc. de min. de Ouro Preto, p. 135. Rio-de-Janeiro). — DOM PEDRO AUGUSTO DE SAXE-COBOURG-GOTHA. *Fer oligiste spéculaire cristallisé de Bom Jesus Meiras* (PROV. de Bahia, Brésil) (C. R., t. 108). — 1891. ORVILLE O. DERBY. *Magnetit ore districts of Jacupiranza and Ipanema, Sao Paulo, Brazil* (Am. J. of. Sc. t. 41).

[2] *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 165. — Voir plus loin au chapitre du Cuivre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'oligiste, sur lesquels nous allons insister et, enfin, il existe des produits d'altération, tels que la sidérose et la limonite. Les noirs cherchent, paraît-il, et fondent des grains d'oxyde de fer, disséminés dans les terrains argileux superficiels : genre de métallurgie, qui a dû être celui pratiqué par toutes les premières civilisations et, notamment, par la civilisation homérique.

Les amas de magnétite et d'oligiste du Katanga forment, si les premiers explorateurs ne se sont pas laissé entraîner par leur enthousiasme, des gisements considérables et de qualité supérieure, tels qu'il en existe dans peu de régions au monde, si ce n'est en Scandinavie. Voici, en effet, ce qu'en dit Cornet :

« En beaucoup d'endroits, spécialement dans le Sud du Katanga, l'oligiste ou la magnétite se présentent en amas atteignant souvent des proportions énormes... Ces massifs, opposant aux actions dénudantes une résistance supérieure à celle qu'offrent les couches verticales ou fortement redressées qui les accompagnent, se présentent généralement sous forme de collines coniques, faisant saillie sur un pays en plateau ondulé. D'après le nombre d'amas importants que j'ai pu observer sans m'écarter beaucoup de notre itinéraire, on pourra se faire une idée de l'énorme quantité de minerais de fer de qualité supérieure que recèle le sol de ce pays. »

Parmi les gîtes, dont on trouvera la description dans les mémoires de Cornet[1], celui de *Kibanda* est une masse d'oligiste dans des schistes cristallins ; celui de *Moa Molulu*, une masse d'oligiste avec quartz au milieu de schistes siliceux, quartzites et grès ; celui de *Ntenké*, un amas de magnétite presque pure, ou légèrement mêlée d'oligiste et de quartz, dans un poudingue à pâte schisteuse, qui fait partie d'un système de schistes et quartzites : cet amas est oblique à la stratification.

Ailleurs, à *Kafunda Mikopo*, on a un mélange intime de magnétite et d'oligiste, grenu et assez compact, à structure subschistoïde, situé souvent au contact d'un calcaire. A *Chamélengé*, une colline de 120 m. de haut paraît constituée d'une seule masse de magnétite, presque pure ou mêlée d'oligiste, etc.

Dans la publication officielle de Karl Péters sur l'**Afrique orientale allemande**, il est également question d'amas de magnétite au Nord du lac *Victoria Nyanza*. Bornhardt[2] signale aussi, en passant, des amas importants de magnétite dans les gneiss, amas évidemment sans utilisation possible d'ici longtemps. Enfin, le Dr Danz[3], qui a visité longuement la partie de la colonie allemande non explorée par Bornhardt, parle de grandes masses de magnétite au Nord du lac *Nyassa*.

14° GISEMENTS ARCHÉENS D'ASIE[4]

Indes. — Le district de Salem, au Sud de la présidence de Madras, contient, au milieu de terrains à facies archéen, des lits de minerai très

[1] Voir bibliographie au chapitre du cuivre.
[2] 1899. Zeits. d. Deutsch. geol. Ges., t. 50. Berlin.
[3] 1900. Zeits. für prakt. Geol., p. 262.
[4] *Richesses minérales de l'Asie*, p. 690. 731, 748.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

continus atteignant 15 à 20 m. d'épaisseur et formés d'oxydes de fer cristallins avec de la silice en proportions plus ou moins fortes. Ce sont des minerais de cette région et d'Arcot (un peu plus au Nord) qui ont été fondus autrefois dans les fonderies de Porto-Novo (au Sud de Pondichéry).

Vers l'Ouest, on décrit, dans le district de *Nilgiris*, des conditions analogues : lits de magnétite et d'hématite intercalés dans les gneiss.

Plus au Nord, dans le district d'Hyderabad, les mines de *Nirmal* (Subah Berar), qui furent fameuses pour la qualité de l'acier produit, exploitaient des magnétites, disséminées dans un gneiss associé avec des schistes amphiboliques.

Sumatra[1]. — Dans le Sud de Sumatra (district de Lampong), on connaît, au Nord-Est de la baie de *Telok Bélong*, une formation ferrifère analogue. Au milieu de micaschistes décomposés s'intercalent des lentilles de magnétite siliceuse, qui semblent affecter une allure interstratifiée. Leur teneur en fer est d'environ 65 p. 100, avec traces de titane et 0,0008 à 0,002 de phosphore. Certaines de ces lentilles renferment un peu de chalcopyrite, qui s'est superficiellement altérée en malachite et qui, dans la zone de cémentation sous-jacente, arrive à donner une teneur locale de plus de 3 p. 100 de cuivre. Le cubage, qui en a été publié, évalue la quantité de minerai, sur 90 m. de haut au-dessus du niveau des eaux, à 50 MT.

Tonkin. — On a signalé à *Baxhat*, dans la région de Lao-kay, par conséquent presque à la frontière chinoise du Nord-Ouest, dans les micaschistes du fleuve Rouge, des lentilles ou amas de magnétite interstratifiés, que leur position près d'un fleuve navigable, à 20 km. de Lao-kay (relié par chemin de fer à Haï-phong), pourrait permettre d'exploiter.

II. — FER SILURIEN

Généralités. — A la base du système silurien, les terrains suffisamment échappés au métamorphisme pour qu'on ait pu y reconnaître la faune primordiale du cambrien ne renferment que fort peu de gisements de fer à signaler. Nous n'aurions guère à mentionner, dans ce niveau, que les minerais des *Asturies* et de *Léon*, dont nous dirons un mot tout à l'heure à l'occasion des minerais ordoviciens plus importants situés dans la même région, et ceux des comtés de *Crawford*, *Dent* et *Phelps* au Missouri. Ceux-ci, formés d'hématite altérée, fournissaient, il y a quelques années, 100 000 à 300 000 t. par an [2].

Au contraire, l'ordovicien présente, dans les contrées du globe les plus diverses, un remarquable développement des niveaux ferrugineux, qui ne retrouve plus guère son équivalent ultérieur que dans le carbonifère, l'infra-jurassique et le tertiaire. Nous avons déjà signalé ce fait en en cherchant l'explication possible dans les phénomènes orogéniques. Parmi les nombreux dépôts ferrugineux de cet étage, nous signalerons, en Europe, le long des chaînes primaires suivies de l'Ouest à l'Est, les

[1] 1909. Muller-Herrings. *Magneteisenerz in Süd-Sumatra* (Z. f. pr. G., nov., p. 498 et 499).

[2] Kemp. *Ore deposits of the United States*, p. 99.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

minerais des Asturies, du Maine-et-Loire, du Calvados, du Pays de Galles, de la Norvège septentrionale, du Thuringerwal, de la Bohème et de la Sardaigne ; puis, sur un autre continent, ceux gothlandiens des Etats-Unis (Clinton), etc.

Si l'on cherche à situer ces gisements sur une carte des mers ordoviciennes, on est frappé de les voir, en Europe, concentrés dans une région compliquée d'îles et de bras de mers, généralement assez près des rivages. C'est un peu ce qui se produit aussi aux autres époques de grands dépôts ferrugineux : notamment pour le toarcien.

La majeure partie de ces minerais siluriens affecte une structure oolithique, qui, nous l'avons vu, ne leur est pas particulière, mais que nous n'avons pu encore rencontrer aussi nettement dans les minerais recristallisés par métamorphisme des phases antérieures. En même temps, ces minerais sont à peu près partout très phosphoreux : ce qui est également un fait ordinaire dans les sédiments non altérés superficiellement et non métamorphisés. Il en est résulté, pour la plupart d'entre eux, un retard dans leur mise en valeur, qui n'a pris son développement qu'assez récemment.

Asturies[1]. — Il existe, dans les Asturies et Léon, un niveau cambrien (?) de quartzites ferrugineux extrêmement étendus et plissés, ayant dans le Sud jusqu'à 200 m. de puissance, avec de faibles teneurs de 18 à 25 p. 100 de fer et, dans le Nord, s'amincissant en veines plus riches de 0,80 à 1 m. à 40 p. 100, mais encore trop siliceuses.

Au-dessus, on trouve, dans le silurien de *Salas* (vallée de la Narsea), de curieuses couches de carbonate de fer verdâtre, fortement phosphoreux, dont l'exploitation est paralysée par une distance de 200 km. à la mer, mais dont le cube reconnu ne serait, dit-on, pas moindre de 100 MT. Puis vient le dévonien, avec des minerais dont nous parlerons plus loin et le tout est recouvert par des synclinaux houillers.

Villa Cañas (Andalousie)[2]. — Fuchs rattachait au même niveau silurien quelques amas étudiés par lui en Andalousie : amas encore extrêmement limités et, malgré leur pureté, inutilisables.

Le plateau de Villa-Cañas est limité, au Nord, par une série de collines formées par les quartzites siluriens, tantôt blancs, tantôt rosés, ayant une direction générale à 15 h. Au milieu de ces quartzites, apparaissent quelques amas d'hématite rouge avec une gangue de quartz grenu irrégulièrement disséminé. Ce quartz est parfois assez abondant sur les bords pour former une sorte de brèche, dont l'oxyde de fer serait le ciment. Au centre, on trouve des blocs d'hématite pure, mais très restreints.

A *Viverro*, en Espagne, Cszyskowski a étudié également[3] des minerais analogues, qu'il considérait comme formant une couche interstratifiée.

[1] 1849. Paillette. *Minerai de fer des Asturies* (Espagne) (B. S. G. F., 2e, t. 6, p. 575). — 1882. Ch. Barrois. *Terrains anciens des Asturies et de la Galice* (Mém. Soc. géol. du N., t. 2, p 458; Cf. Ann. S. G. N., t. 4, p. 299). — 1905. Nicou et Schlumberger. *L'industrie minière et métallurgique dans les Asturies* (Ann. d. M., 10e, t. 7, p. 251).

[2] 1872. Fuchs. *Notes de voyage inédites.* — 1884. Hock. *Mines de fer de l'Espagne* (Cuyper, t. 5, p. 150).

[3] *Loc. cit.*, p. 309.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Maine-et-Loire (Segré [1]). — Dans le Nord-Ouest de la France, la série ordovicienne présente, à la partie supérieure des grès armoricains et à la base des schistes ardoisiers d'Angers à calymènes, des niveaux de minerais très importants, déjà précédés, au milieu des grès armoricains, par quelques concentrations ferrugineuses, comme celles de Coatquidam (Morbihan), qui arrivent à former des minerais, d'ailleurs inutilisés. Dans la région de Segré les minerais passent pour un peu plus anciens que dans le Calvados et sont intercalés dans la partie haute des grès armoricains à Cruziana.

Nous allons donc commencer par cette région de Segré, bien que sa mise en valeur ne soit pas encore réalisée. Nous passerons ensuite aux minerais du Calvados et de l'Orne, dont l'exploitation, prend, au contraire, depuis quelques années, une importance croissante.

La région de Segré participe aux plissements N. 130° E. du massif armoricain.

C'est ainsi qu'entre Château-Gontier et Angers on trouve, avec quelques rares représentants du dévonien (Château-Gontier, Thorigné, Erbray), un certain nombre de bandes étroites de terrain silurien.

C'est au milieu de quartzites siluriens que se trouvent les lits de minerai de fer (fig. 249), considérés d'abord comme des accidents locaux d'origine filonienne et dont une étude plus approfondie due à Davy a montré, depuis longtemps, l'interstratification dans le silurien suivant un certain nombre d'horizons.

Ces lits de minerai de fer sont jalonnés par d'anciennes fouilles et des dépôts de scories rattachés à l'époque gauloise. Les grès qui les contiennent sont des roches dures à grain fin, occupant ordinairement le sommet des coteaux.

Ils forment, entre Château-Gontier et Angers, six ou sept bandes distinctes, dont la principale va du Lion d'Angers à Segré et Pouancé, et contient, elle-même, un assez grand nombre de veines de fer. On croit actuellement y avoir reconnu quatre formations d'âge distinct représentant une puissance utile de 4 m. La longueur explorée est d'environ 1 km:; la profondeur de 80 m.

Les minerais comprennent différents types, caractérisés en moyenne par une silicification ultérieure qui en a fait des quartzites. Le fer y est à l'état de fer oxydulé très dur ou de fer oligiste avec de la chlorite. Les meilleures qualités arrivent à 55 p. 100 de fer avec 11 de silice. La moyenne

[1] Gisement visité en 1892. Feuille de Château-Gontier. — 1796. Renou. *Essai sur l'histoire naturelle du dép. de Maine-et-Loire.* — 1840. Le Chatelier. *Analyse d'un minerai de Segré* (Ann. d. M., 3e série, t. 48, p. 507). — 1842. Le Chatelier. *Statis. du dép. de Maine-et-Loire.* — 1845. Cacarrié. *Description géologique du département de Maine-et-Loire.* — 1854. Millet. *Paléontologie du Maine-et-Loire.* — 1875. Lorieux. *Rés. des ress. min du dép. de la Loire-Inférieure.* — 1880. Davy. *Not. géol. sur l'arrondissement de Segré et sur les minerais de fer de ce pays* (Bull. ind. min., 2e, t. 9). — 1881. Dauton. *Note sur la géologie et les minerais de fer de l'Anjou* (Bull. Soc. Ind. min., 2e série, t. 10, n° 3, p. 597. Saint-Etienne). — 1909. Cayeux. *Minerais de fer primaires*, p. 143 à 170. — 1911. Davy. *Les minerais de fer de l'Anjou et du Sud-Est de la Bretagne* (Bul. Soc. Ind. min., janv., 94 p.). — 1911. Bellanger. *Sur l'importance probable du gisem. ferr. de l'Anjou* (Ann. d. M. 10e, t. 20, bulletin, p. 452 à 456). — 1911. *Les minerais de fer de l'Anjou* (La Nature, 9 déc., n° 2011, suppl.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

utilisable est de 48 p. 100 avec 18 de silice. Une analyse de minerais triés donne :

Silice	Acide titanique	Alumine	Peroxyde de fer	Chaux	Magnésie	Acide phosphorique	Perte à la calcination
15,09	0,407	2,084	76,91	0,591	0,096	0,483	1,307

Plus récemment on a reconnu, sur le même niveau, quelques parties moins métamorphiques, ayant gardé leur structure oolithique avec de la sidérite et rappelant davantage les gîtes normands étudiés plus tard.

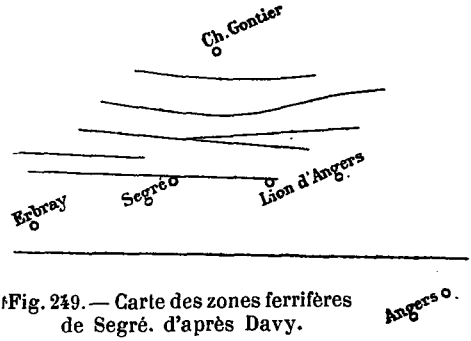


Fig. 249. — Carte des zones ferrifères de Segré, d'après Davy.

Les minerais de magnétite eux-mêmes montrent parfois au microscope des restes d'oolithes.

On a donc pu se demander si la silicification ne serait pas due en partie à des réactions superficielles et récentes et si la qualité ne s'améliorerait pas en profondeur. Mais il semble que les transformations récentes se soient superposées ici à une série de transformations bien plus anciennes et dès longtemps achevées.

A la surface du sol, ces gisements, surtout ceux de fer oxydulé, sont généralement accompagnés d'un remaniement hydroxydé qui, pendant longtemps, a été seul utilisé. On peut admettre que le fer oxydulé a commencé par devenir plus tendre, se suroxyder, passer à l'état d'oligiste, puis s'hydrater, former des géodes. On observe alors, sur les affleurements, un terrain rouge disposé suivant une bande parallèle à la stratification et, dans ce terrain, des fragments de fer oxydulé, souvent entourés d'une double enveloppe, l'intérieure en oligiste, l'extérieure hydratée, des débris de géodes ayant parfois un noyau d'argile blanche ou jaune, etc.

Ces gisements ont été l'objet, entre 1874 et 1875, d'un certain nombre de concessions (du Bois, de l'Oudon, des Aulnais, de la Ferrière, de la Jaille-Yvon et de Marigné). En outre, c'est surtout pour l'utilisation de ces minerais que s'était fondée, en 1879, la Société des mines de fer de l'Anjou et des forges de Saint-Nazaire. L'exploitation, qui a toujours été insignifiante, en raison du caractère trop siliceux de ces minerais, a cessé en 1885, puis a repris un moment en 1891 à l'Oudon, pour le compte de la Société des forges de Trignac. Au total, de 1880 à 1892, on a extrait 35 500 t. De 1893 à 1907, on s'est borné à travailler sur des minerais de surface (minière de la Noé, à Chateaubriant, Rougé, etc.).

Depuis 1908, on a fait une tentative nouvelle d'exploration en profondeur, sur laquelle on fonde des espérances. Les recherches portent : à la Ferrière, sur un synclinal septentrional allant de Châteauneuf-sur-Sarthe à la Vilaine et, plus au Sud, à l'Oudon, sur le synclinal de Segré. L'extraction résultant de ces travaux de recherches a été de 89 000 t. entre 1908 et 1910, de 100 000 t. en 1911 et approchera de 150 000 en 1912.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Basse-Normandie[1]. — Bien que les minerais de Saint-Rémy (Calvados) soient connus et exploités depuis fort longtemps, et que leur continuité géologique eût été signalée à diverses reprises, la mise en valeur de ce bassin important ne remonte qu'à 1900. Le minerai est, en effet, généralement recouvert par du jurassique; l'affluence des eaux y rendait les études superficielles difficiles; enfin la teneur en phosphore eût longtemps rendu ces minerais inutilisables. On sait aujourd'hui qu'il existe, dans le Calvados, l'Orne et la Manche, un niveau ferrugineux, situé, soit dans les schistes d'Angers à 40 m. au-dessus de leur base, soit à cette base même, au contact du grès armoricain. Après le premier plissement huronien qui a amené les conglomérats pourprés cambriens en discordance sur les phyllades précambriens, il s'est déposé là une série concordante de schistes et grès, dans laquelle se sont, à un moment donné, intercalés, dans des conditions qui vont être discutées, les sédiments oolithiques ayant rapidement formé un mélange de carbonate et silicate de fer. Après quoi, les composés protoxydés ont été ultérieurement transformés en oligiste, ou, sur les affleurements actuels, en limonite. Puis le tout, y compris le dévonien inférieur, a été plissé à l'époque hercynienne, dans le sens N. 115° E., émergé et recouvert à des époques variables par le permien de Littry ou, plus généralement, par un manteau jurassique, resté à peu près horizontal.

La figure 250 montre, d'après Heurteau, la disposition du bassin cambro-silurien (le jurassique étant supposé enlevé). Les terrains, très constants le long d'un même synclinal, varient, au contraire, d'un synclinal à l'autre : ce qui a été attribué par Barrois à leur distance originelle fortement réduite à nos yeux par l'effet des plissements. Les minerais semblent, comme nous venons de le dire, avoir été d'abord protoxydés (sidérite, puis chlorite); ils ont dû être transformés en hématite au-dessus d'un niveau hydrostatique très ancien, n'ayant probablement aucun rapport avec le niveau hydrostatique actuel, et dont l'étude pourrait, par suite, quand les travaux de mines se seront suffisamment approfondis, apporter une contribution intéressante à l'étude d'un régime disparu, pouvant remonter avant le recouvrement jurassique.

Des quatre synclinaux représentés sur notre carte[2], le premier au Nord, celui de Saint-André et May, qui a une forme isoclinale, est peu important. Le minerai y forme cependant deux affleurements sur les deux bords du

[1] 1887-92. Lecornu. Mém. div. dans le Bull. Soc. lin. de Nor. — 1901. Pralon. *Sur le minerai de fer carbonaté de Normandie* (Ann. d. M., fév., p. 125-149). — 1902. Masse. *Contr. à l'étude géologique des gîtes minér. de la Normandie* (Ann. d. M., juin, p. 581-609 avec bibl.). — 1907. Heurteau. *Sur le minerai de fer silurien de Basse-Normandie* (Ann. d. M., 613-669). — 1908. Oehlert. *Sur les minerais de fer ordoviciens de la Basse-Normandie et du Maine* (C. R., 146, p. 517). — 1909-10. Cayeux. *Le quartz secondaire des minerais de fer oolithique du silurien de France et son remplacement en profondeur par du fer carbonaté* (C. R., t. 159, p. 1095). — *Evolution minéralogique des minerais de fer oolithique primaires de France* (C. R., t. 159, p. 1388). — *Prolongement des minerais de fer oolithique siluriens de la presqu'île armoricaine dans le bassin de Paris* (C. R., t. 160, p. 134). — *Les algues calcaires du groupe des Girvanella et la formation des oolithes* (C. R., t. 160, p. 359). — *Les minerais de fer oolithiques de France* (fasc. I. *Minerais de fer primaires*) (Ch. Béranger).

[2] Plus au Nord, dans la Manche, on connaît également, depuis longtemps, du minerai de fer silurien à Bricquebec.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pli. La couche, à Bully, a 6 mètres d'épaisseur totale, mais dont 2 seulement exploitables, le reste étant trop siliceux. L'hématite y persiste encore

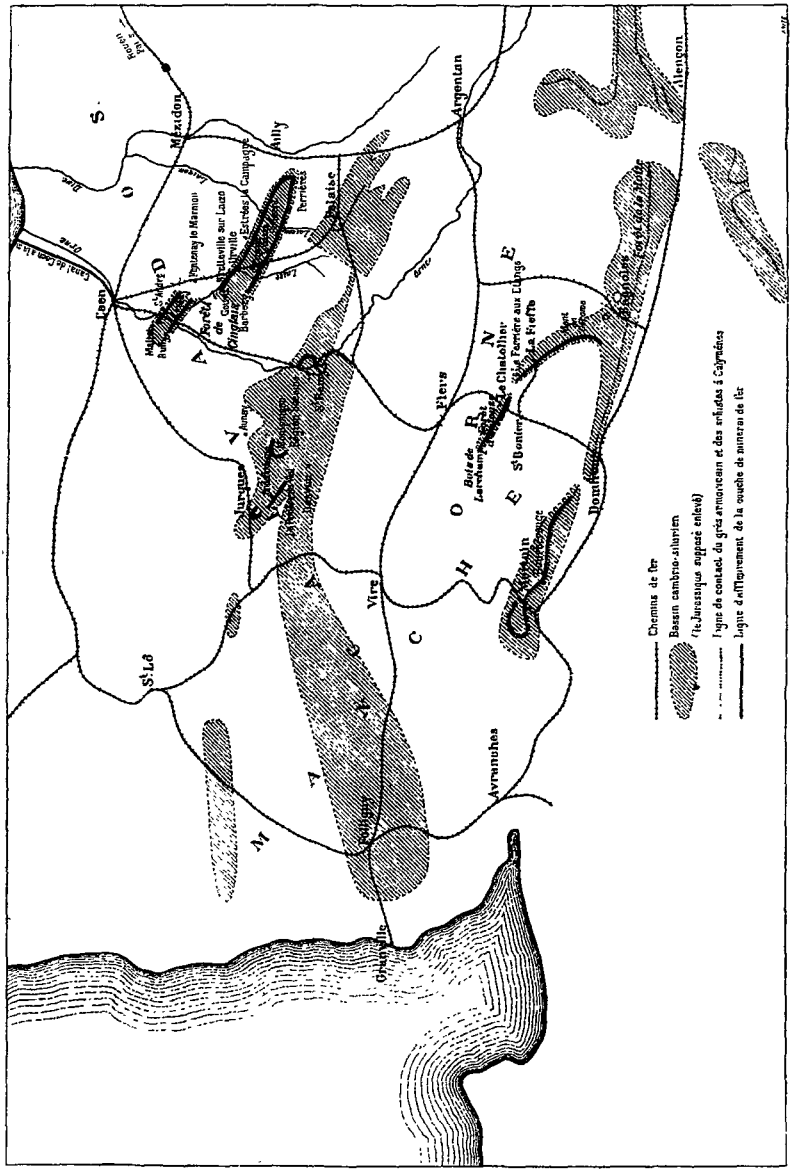


Fig. 250. — Carte générale des gîtes de minerai de fer de Basse-Normandie, d'après Heurteau.

à 35 m. au dessous de l'Orne. Minéralogiquement, on a, à May, deux types de minerai, l'un à oolithes chloriteuses avec restes de sidérose, l'autre à oolithes d'hématite.

Dans le synclinal de Perrières à Barbery (Urville, etc.), la puissance utile peut être de 1,50 à 2 m. Le carbonate monte parfois jusqu'au

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

recouvrement jurassique. L'hématite est généralement terreuse et irrégulière, passant au grès ou à l'argile. Les résultats ont paru peu encourageants.

Le synclinal de Falaise, Saint-Rémy et Jurques est plissé en W et disloqué dans l'Est. A Saint-Rémy, où se trouvent les plus anciennes exploitations du bassin, la couche, entièrement hématisée, avec une teneur de 32 p. 100, la plus forte qu'on ait rencontrée dans la région, a 2,60 m. d'épaisseur. Vers l'Ouest, la couche, formée d'hématite et carbonate, a été retrouvée à Ondefontaine. Le minerai de Saint-Rémy est essentiellement un minerai d'hématite rouge et de martite, dans lequel il subsiste très peu de l'ancienne chlorite.

Enfin, le synclinal du Sud se branche en deux à l'Ouest, de Bagnoles à Mortain et de la Ferrière à Halouze. On y trouve le grès armoricain directement sur le précambrien ou le granite, et le minerai immédiatement au contact du grès amoricain. Vers la Ferrière aux Etangs, la couche de 2,50 m. est presque entièrement formée de sidérite et de chlorite avec des indications de calcite, où l'on a pu voir un reste de la forme primitive. Certaines parties de ce minerai sont caractérisées par l'existence d'algues perforantes, dites Girvanella [1]. Dans la forêt d'Halouze, l'affleurement se suit sur près de 4 km. avec une couche verticale de 4 m. en carbonate et hématite; puis la puissance retombe à 2,50 m.

Si l'on cherche l'origine de ces gisements, on constate d'abord que la forme peroxydée y est, comme toujours, une forme d'altération remplaçant de la sidérite et de la chlorite : la chlorite elle-même résultant, d'après Cayeux, d'une silicification opérée sur la sidérite. Cette peroxydation, comme nous l'avons dit, est ancienne et n'a aucun rapport avec le niveau hydrostatique actuel. On reconnaît à l'examen microscopique que tout le minerai a commencé par être formé d'oolithes développées dans des eaux agitées et charriées par des courants, pendant une période où les sédiments terrigènes quartzeux étaient là peu nombreux. Ces oolithes étaient encore plastiques quand elles ont été amenées en contact. Elles ne renfermaient sans doute pas encore leur nucleus quartzeux, qui semble cependant dû à une introduction très prompte de silice secondaire, antérieurement même à la déformation des oolithes.

Cayeux a fait remarquer que l'on devait être alors à 400 et 500 km. du rivage silurien, situé vers l'Atlantique [2]. On ne peut donc pas parler d'une sédimentation littorale. La formation des oolithes, quelle qu'en ait été la nature première, ne semble cependant pas compatible avec une mer bien profonde, pas plus que l'existence d'algues perforantes (Girvanella) à la Ferrière aux Etangs.

Il est à remarquer qu'à l'exception de ces algues on ne constate, dans les minerais siluriens du Calvados, aucune trace de ces organismes

[1] Contrairement à la plupart des auteurs antérieurs, Cayeux décrit ces girvanellas comme toujours postérieures aux oolithes. Suivant Bailey Willis, qui les a dernièrement étudiées dans des minerais chinois (*Research in China*, part. II, p. 379), elles seraient, tantôt antérieures, tantôt postérieures.

[2] Les cartes paléogéographiques de Lapparent, 5e édit., p. 796, font ressortir, indépendamment de ce rivage général assez lointain, une île émergée dans le Nord de la Bretagne entre le bassin ferrifère de Normandie et celui de l'Anjou.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qui sont si abondants pour d'autres minerais de fer sédimentaires[1].

Ces gisements ne fournissent donc aucun argument nouveau dans la question de l'origine première des oolithes que nous avons discutée en commençant ce chapitre.

Pratiquement, l'hématite type de la région est un minerai de couleur rouge violacée rocheux très solide, donnant peu de menu et régulier. La teneur moyenne à Saint-Rémy est de 47 p. 100 avec 14 de silice et 0,6 de phosphore. Le carbonate est lithoïde et se présente en roches grises, qui sont légèrement plaquées de rouge quand elles ont subi une oxydation partielle. La composition moyenne est 40 de fer, 0,32 de manganèse, 10,10 de silice, 4,30 d'alumine, 4,5 de chaux et magnésie, et 26,6 de perte au feu. Après passage au four à cuve, on a un minerai à 50 de fer.

Tous ces minerais donnent de la fonte à 1,1 ou 1,5 de phosphore, utilisable pour moulage Martin ou Thomas. Au début, on a uniquement exploité l'hématite. Mais, depuis 1906, on s'est mis à attaquer activement les carbonates de la zone Sud.

Industrie. — Succédant à une série de vieilles minières qui ont exploité la limonite aux affleurements, la mine de Saint-Rémy seule a été exploitée depuis 1876. Elle produit environ 100 000 t. par an. La concession de Saint-André date de 1893 et a produit 28 000 t. en 1906. A May, une couche à 45 degrés est concédée depuis 1895 (75 000 t.en 1906). Les concessions de Gouvix et Urville sont de 1896. Barbery a été mis en marche en 1904 (50 000 t). En moyenne, ce petit bassin n'a pas paru encourageant par l'abondance du carbonate et les difficultés d'épuisement. La Ferrière, qui ne date que de 1902, a produit 81 000 t. en 1906. Halouze date seulement de 1907, etc. Quant à Bourberouge et Mortain, les concessions y sont gênées par les frais de transport. En moyenne, le prix de revient rendu au chemin de fer est de 5 fr. pour l'hématite par suite de son irrégularité et peut descendre un peu pour les carbonates plus réguliers. L'exportation se fait par Caen vers l'Angleterre et la Westphalie.

Le prix de vente est réglé pour une teneur de 50 de fer et 12 à 14 de silice. On peut compter sur une moyenne de 9,50 à 10 fr. pour le prix rendu à Caen.

En 1908, le Calvados a donné 196 000 t. d'hématite, l'Orne 142 000 t. de fer carbonate grillé et 9 000 t. de minerai hydroxydé, la Manche seulement 1 500 t. de minerai hydroxydé.

En 1909, le Calvados a produit 220 000 t. de minerai, l'Orne 106 000 t. Cette production est actuellement en voie d'accroissement rapide.

Pays de Galles. — Dans le Nord du pays de Galles, on a repris avec activité vers 1900 des couches de minerai de fer oolithique noir, intercalées dans les schistes ardoisiers de l'ordovicien inférieur (assise d'Arenig), ou peut-être dans le cambrien supérieur (Trémadoc). Ces minerais forment un bassin presque aussi étendu que celui de Meurthe et Moselle. Ils sont phosphoreux.

[1] CAYEUX. *Loc. cit.*, p. 288.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dunderlandsdal[1]. — En pendant avec tous les gisements scandinaves encaissés dans des terrains à facies archéen, ceux du Dunderlandsdal et des régions voisines présentent cet intérêt d'être intercalés, dans le silurien métamorphique et, par conséquent, dans des conditions d'âge et de dépôt sédimentaire mieux définies.

Dans ces régions Nord de la Norvège, l'attention des industriels a été récemment attirée sur une importante zone de gisements ferrugineux à faible teneur, généralement très siliceux et sensiblement phosphoreux, que les procédés de séparation magnétique et de briquetage permettent aujourd'hui de traiter. Cependant la Dunderland Iron Ore Cy, après avoir dépensé 40 millions en quatre ans et avoir extrait au total 365 000 t., a dû arrêter les travaux en juillet 1900[2].

Cette zone de 400 km. de long, située environ sur le cercle polaire, entre 65 et 69 degrés de latitude, commence au Sud du glacier de Svartisen, sur le Ranenfjord (Elvsfjord au Sud du Ranenfjord ; îles de Dönnesö et Tomö à son embouchure ; Mo et Dunderlandsdal au fond du fjord). On la retrouve au Nord du glacier, près de Beieren, à Skjœrstad (sur le Saltenfjord), puis sur les deux rives de l'Ofot-fjord, où aboutit la nouvelle ligne de la Baltique à l'Atlantique, et, enfin, à Salangen, dans le Sud du cercle de Tromsö (environ 69° N.). Les tentatives d'exploitation ont surtout porté sur les gîtes du Dunderlandsdal, à peu près sur le cercle polaire.

Tous ces gisements, analogues entre eux, sont intercalés dans cette longue bande de terrains métamorphiques à facies cristallin, que la découverte de quelques fossiles à Trondhjem, Sulitjelma, etc., conduit à regarder comme un synclinal cambro-silurien, très anciennement plissé. D'après les recherches de J. Vogt, il y a là trois termes principaux : 1° à la base, un complexe de schistes micacés avec marbres et niveau supérieur de minerai de fer; 2° au-dessus, un gneiss plus jeune, en concordance avec le niveau ferrugineux précédent et passant, par transitions insensibles, aux schistes micacés inférieurs; 3° les schistes de Sulitjelma.

Les minerais de fer semblent bien correspondre à un groupe de couches sédimentaires métamorphisées. Ils se présentent en niveaux lenticulaires, qui ont souvent 1 à 2 km. de long, parfois jusqu'à 5 et 8 km., avec une largeur moyenne de 3 à 10 m., rarement (Dunderlandsdal) 30 à 60 m., exceptionnellement jusqu'à 100 m. Ces lentilles se trouvent dans la partie supérieure des schistes micacés à niveaux de marbres, dans le voisinage de bancs de marbre ou de dolomies, dont ils sont pourtant toujours (sauf dans une seule exception) séparés par une couche de schistes

[1] Voir une description de Vogt avec cartes et coupes (Zeits. f. pr. Geol., janv. et fév. 1903) avec renvoi aux publications antérieures du même auteur; notamment : 1890; *Salten og Ranen*). — 1891. A.-W. Stelzner. *Das Eisenerzfeld von Naeverhaugen*, Berlin. — 1894 Vogt. *Dunderlandsdalens jernmalmfelt*, (avec carte géologique). — 1895. Vogt. *Marbre et fer du Dunderland* (Z. f. pr. G., p. 27 — 1902. *Det Nordlige Norges ma lmforekomster og bergverksdrift*. — 1911. Nicou (Ann. d. M., 10e, t. 19, p. 320 à 330. — 1912. Note techn., 298 du *Com. Cent. des Houillères*.

[2] L'exploitation de *Bogen*, dans l'Ofotenfjord, a été également arrêtée depuis 1908. Nous signalerons, à ce propos, les gisements de *Sydvaranger* par 69°40′ à la frontière russo-norvégienne, où les amas de magnétite, traversés par des filons de diabase, sont encaissés dans le granite. La roche minéralisée est un mélange rubané et fortement plissé de quartz, hornblende et magnétite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

micacés de 1 à 10 m. La limite entre les minerais et les schistes est généralement nette, et, d'après J. Vogt, l'ensemble des conditions de dépôt très régulières exclut l'hypothèse d'anciens phénomènes de substitution sur des calcaires, pour faire admettre une simple précipitation sédimentaire.

Le minerai est un mélange de quartz, oligiste, magnétite, avec du grenat, de l'épidote et, plus accessoirement, de la hornblende, du pyroxène, un peu de mica ou de feldspath, c'est-à-dire une sorte de quartzite ferrugineux, passant progessivement aux quartzites pauvres regardés comme stériles et parfois assimilable aux itabirites du Brésil.

En raison de la forte teneur en silice, la proportion de fer n'est guère que de 30 à 40 p. 100, quoiqu'elle puisse localement atteindre 55. Ce fer est surtout à l'état d'oligiste, qui est souvent dix fois plus abondant que la magnétite et toujours au moins en proportion triple : ce qui gêne pour l'enrichissement. On trouve, en même temps, une teneur en manganèse très variable (en partie, à l'état de magnétite manganésifère) : teneur presque insignifiante dans le Sud, arrivant souvent à 3 ou 5 p. 100 dans certains gîtes du Nord (Ofoten et Salangen).

Comme impuretés, le phosphore est dans une proportion moyenne de 0,2 p. 100. Le rapport du phosphore au fer est, par suite, de 0,66 p. 100. Ce corps se présente en apatite, pour la plus grande partie dans le quartz, ce qui facilite sa séparation magnétique. Le soufre est très peu abondant (0,01 à 0,025 p. 100) ; le titane fait défaut.

Thuringerwald[1]. — On exploite, à Schmiedefeld (Saxe Meiningen), un niveau ferrugineux ordovicien, qui se poursuit dans le Thuringerwald, le Frankenwald, le Vogtlang et que nous allons retrouver en Bohème. D'après Loretz, le minerai est formé d'oolithes de chamosite, avec un peu de thuringite : oolithes contenant souvent un peu de fer spathique et de quartz, englobés dans un ciment de fer spathique. La chamosite typique est un silicate d'aluminium et de fer tenant 42 p. 100 de FeO, avec 6 de Fe^2O^3 et 13 d'alumine. La thuringite tient 33 de FeO, 15,43 de Fe^2O^3 et 16,60 d'alumine; elle est compacte et disposée en écailles fines quand elle est intacte, mais prend une structure oolithique par altération. Le minerai de Schmiedefeld, intercalé entre deux couches plissées de schistes, atteint jusqu'à 18 m. de puissance.

Bohême (Nucic)[2]. — A l'Ouest de Prague, la région moyenne du silurien comprend, dans les assises inférieures de l'étage D de Barande, plu-

[1] 1879. Von Gümbel. *Fichtel Gebirge*, p. 235 et 420. — 1884. Liebe. *Uebers. ueb. den Schichtenbau Ost-Thuringens* (Ab. geol. Spez. Kart. v. Preussen, t. 5, 4e partie. — 1884. Loretz. *Zur Kennt. d. untersil. Eisenst. im Thuringer Walde* (J. d. k. preuss. Landesanst, p. 120-147).

[2] 1863. Lipold. *Die Eisensteinlager der silur. Grauwackenform. in Böhmen* (J. d. K. K. geol. Reichs. in Wien., p. 339-448. — 1873. Vala et Helmhacker. *Das Eisenst. Vork. in der Gegend von Prag und Beraun* (Prague). — 1875. Freistmantel. *Die Eisensteine in der Etage* D *des böhmischen Silurgebirges* (Abh. d. K. Ges. d. Wiss. et Sitz. Ber. d. K. böhm Ges. d. Wiss., t. 8, p. 1-74; 1878, p. 120-132). — 1884. Cszyskowski. (Bul. Soc. Ind. min., t. 13, p. 299). — 1884. Besson. *Note sur l'état actuel de la métal. du fer en Autriche-Hongrie* (Mém. Soc. Ing. Civ., février). — 1910. V. Uhlig. *Iron ore resources of the world*, p. 148 à 152.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sieurs couches régulières de minerai de fer, dont l'une, à Nucic, de 6 à 16 m. d'épaisseur, présentant une inclinaison variable de 35 à 60° et reconnue sur plus de 15 km. de long. Les minerais sont situés dans les couches dites de Komorau, formées de schistes bariolés et de schalstein (ou tufs de diabase) et participent à toutes leurs inflexions, ainsi qu'à leurs rejets (fig. 251). Ils s'y interstratifient et se terminent par étirement.

Les seules exploitations importantes sont celles de Nucic (Prager Eisen industrie et Böhmische Montangesellschaft), où l'on produisait 46 000 t. en 1882, 401 000 t. en 1882, 650 000 t. en 1899, 807 000 t. en 1905, avec une teneur moyenne en fer de 37 p. 100.

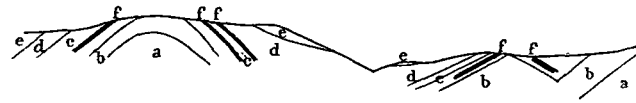


Fig. 251. — Coupe des gisements de fer de Nucic.
a, grauwacke de Przibram. — *b*, couches de Krusznahora. — *c*, couches de Komoro. — *d*, couches de Rokyca. — *e*, couches de Brda. — f, minerai de fer.

La couche atteint à Nucic sa plus grande puissance : 16 m. Elle y est formée ordinairement de chamosite concrétionnée en grains de 1 à 2 mm. avec pâte de fer spathique brun ou gris clair; parfois aussi d'un minerai dit « vitreux » (Sklenenka), particulièrement riche en fer spathique.

La forte teneur en phosphore (1,35 à 2,40 p. 100 d'acide phosphorique) fait que tous ces minerais passent à la fonte Thomas. Le cube a été évalué récemment à 11 MT.

San Leone (Sardaigne)[1]. — En Sardaigne, entre l'étang de Cagliari et la mer, affleurent des schistes considérés par B. Lotti comme siluriens et

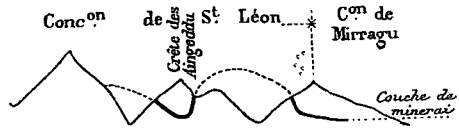


Fig. 252. — Coupe du gisement de fer de San Leone, en Sardaigne.

fréquemment grenatifères, qui contiennent du fer oxydulé. Le minerai, d'après Dumas, formerait une seule couche, dont la figure 252 donne la coupe dans les concessions de San Leone et Mirragu.

Cette couche est constamment recouverte par un banc de grenats confusément stratifié et mêlé de filets de fer oxydulé, ayant jusqu'à 4 m. d'épaisseur.

Le minerai est exclusivement du fer oxydulé magnétique d'un brun luisant, alternant avec des zones de quartz qui forment dans le minerai de petites couches de 1 à 2 cm, très régulièrement parallèles à la stratification.

On distingue trois classes de minerais : la première tenant 65 p. 100 de

[1] 1884. Cszyskowski, p. 301 ; cf. un rapport de Dumas, 1864.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fer; la deuxième, 50 à 60 p. 100; la troisième, 40 à 45 p. 100. Cette dernière, très grenatifère, est située surtout au toit.

Ce gisement a été un moment exploité vers 1862 à 1866.

Gothlandien de Clinton (États-Unis)[1]. — L'étage gothlandien de Clinton (sous le groupe salifère d'Onondaga) renferme, avec une constance remarquable, des lits d'hématite rouge, interstratifiés au milieu de schistes et de calcaires. On les trouve aussi bien dans le Wisconsin, l'Ohio et le Kentucky que dans l'État de New-York, au Sud du lac Ontario; puis dans la Pennsylvanie et la Virginie, enfin dans le Tennessee et l'Alabama.

Le nombre et la puissance des couches d'hématite sont très variables. A *Clinton* même, il y en a deux principales : la supérieure de 2 m., très fossilifère et inexploitable en raison de sa faible puissance; l'inférieure oolithique, souvent subdivisée en deux bancs ayant au total $0^m,50$ à $0^m,90$.

Ailleurs, à *Birmingham*, dans l'Alabama, la puissance totale monte à 9 m. Dans cette région, une situation économique favorable, due au voisinage de la houille, a permis de développer l'exploitation qui, pour l'ensemble de l'Alabama, est montée à 4 MT en 1907. Le cube total de minerais ne serait pas, dit-on, inférieur à 500 MT.

Il y a là, en résumé, deux types de minerais différents, aussi bien à Birmingham qu'à Clinton : le minerai oolithique, dit en graine de lin (flaxseed ore) analogue à tous les minerais du même genre, et le minerai fossilifère (fossil ore), sur lequel l'abondance des débris organisés a spécialement attiré l'attention. Tous deux occupent stratigraphiquement des positions distinctes.

Les minerais oolithiques ont généralement pour centre un grain de quartz. Smyth en a conclu que ce quartz provenait des roches cristallines ou schisteuses et que les oolithes avaient été formées par concrétionnement dans des eaux peu profondes à fond sableux. Mais nous avons vu que, dans un cas semblable, Cayeux regardait le quartz comme secondaire et la formation comme caractéristique d'une zone très éloignée des rivages.

Les minerais fossilifères sont criblés de crinoïdes et de bryozoaires, avec des oolithes restées en partie calcaires. Le rôle de la substitution y est incontestable et c'est l'un des arguments principaux sur lesquels on s'est appuyé pour soutenir l'origine primitivement calcaire de tous les minerais oolithiques ferrugineux.

Au voisinage de la surface, ces minerais continuent, d'ailleurs, à subir une altération, qui déplace ou concentre le fer et qui élimine la chaux pour donner des minerais tendres (soft ores) au lieu des minerais durs.

Par là, les minerais de surface sont rouges ou terreux et sans cohésion.

[1] 1891. A.-F. Foerste. *On the Clinton Oolitic Iron ores* (A. J. of Sc., 3e série, t. 41, p. 28). — 1892. Smyth. *On the Clinton Iron ore* (A. J. of Sc., juin, p. 487-496; Z. f. pr. G., 1894, p. 304-313, avec bibl.). — 1908. Newland and Hartnagel. *Iron ores of the Clinton Format...* (Bull. 123). — 1908. Burchard. *The Clinton ore depos...* (Bull. Am. Ins. of min. Eng., n° 24, p. 997-1055). — 1908. Rutledge. *The Clinton Iron ores...* (Bull. Am. Inst. of min. Eng., n° 24, p. 1057-1087). — 1909. Cayeux, *Minerais de fer primaires*, p. 177 à 184.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A quelque profondeur, ils deviennent parfois compacts avec une couleur bleuâtre et un reflet métallique. Leur teneur moyenne en fer est de 45-48 p. 100 ; celle de phosphore, élevée comme dans tous les minerais de ce genre, peut atteindre 1 p. 100.

Quand on s'enfonce davantage et qu'on passe sous le niveau hydrostatique, il arrive de ne plus trouver que de simples calcaires ferrugineux à 5-7 p. 100.

III. — MINERAIS DÉVONIENS

Généralités. — Les minerais de fer dévoniens sont loin d'avoir l'importance pratique des minerais siluriens. Il en existe cependant un certain nombre de types, qui sont intéressants à noter comme marquant la continuité du phénomène : gédinnien dans les Côtes-du-Nord, coblenzien à Diélette (Manche) ; eifélien dans l'Ardenne, le Nassau, le Harz ; famennien en Belgique.

L'Hermitage (Côtes-du-Nord)[1]. — Ce gisement inexploité est aujourd'hui rattaché au gédinnien (5). L'horizon ferrugineux, intercalé au milieu des schistes, est connu en de nombreux points. Il comporte des minerais oolithiques carbonatés riches en magnétite avec sidérose, chlorite (bavalite) et hématite, dans lesquels les débris de brachiopodes ou de mollusques et de crinoïdes sont fréquents et d'autres minerais presque exclusivement formés de chlorite et de magnétite.

Diélette (Manche)[2]. — On a essayé à diverses reprises, sans succès, d'exploiter à Diélette (Manche) des minerais de fer intercalés dans le dévonien métamorphique, au Nord du massif granitique de Flamanville qui a influencé ces terrains. Il est inutile de décrire ici le métamorphisme bien connu qui a été exercé par ce granite sur des terrains allant jusqu'au coblentzien. (6). C'est au milieu de ce coblentzien que l'on trouve des quartzites ferrugineux passant à des minerais de fer siliceux d'oligiste et magnétite cristallins. Le gisement, sans importance industrielle, est intéressant comme montrant bien nettement la production d'un type scandinave par métamorphisme de profondeur exercé sur des sédiments relativement récents ayant été oolithiques. On a reconnu à Dielette six couches interstratifiées verticales (fig. 253 et 254), dont 3 seulement affleurent sur la plage à marée basse

[1] 1908. KERFORNE. *Sur l'âge des minerais de fer de la forêt de Lorges* (Côtes-du-Nord) (C. R., t. 147, p. 1007). — 1909. CAYEUX. *Minerais de fer primaires*, p. 186 à 201.

[2] Gisement visité en 1890. — Carte au 1/80.000 des Pieux. — BONISSENT. *Essai géol. sur le dép. de la Manche.* — 1874. VIEILLARD. *Le terrain houiller de la Basse-Normandie, ses ressources, son avenir.* — 1877. VILLENEUVE, FLAYOSK. *Minerais de fer de la Manche, de Serk et Guernesey* (Eclaireur financier du 25 mars). — 1884. LECORNU. *Sur la métallurgie du fer en Basse-Normandie.* — 1889. G. MAURICE. *Notice sur Diélette.* (Chez Pariset, 101, rue Richelieu). — 1890. BIGOT. *Thèse sur l'archéen et le cambrien dans le Nord du massif breton.* — 1893. LECORNU. *Plissements siluriens dans la région du Cotentin* (B. C. G., p. 16). — 1906-1910. CAYEUX. *Structure et origine probable du minerai de fer magnétique de Diélette* (C. R., t. 142, p. 716). et *Minerais de fer primaires*, p. 202 à 206.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et dont les autres n'ont été atteintes que par les travaux menés en galerie sous la mer. On a exploité principalement, de 1885 à 1890, la quatrième et la sixième couche.

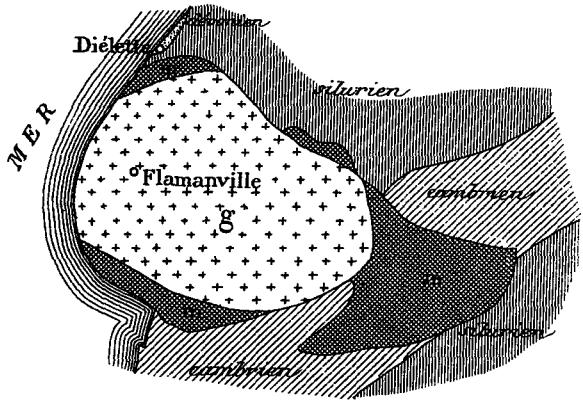


Fig. 253. — Carte géologique de la région de Diélette.

Le minerai de Diélette est un mélange cristallin de magnétite et d'oligiste rappelant tout à fait, par son aspect, les minerais de Suède et attirable à l'aimant, mais où Cayeux a reconnu au microscope une structure oolithique et peut-être même des débris d'encrine. Il n'a pas d'autre

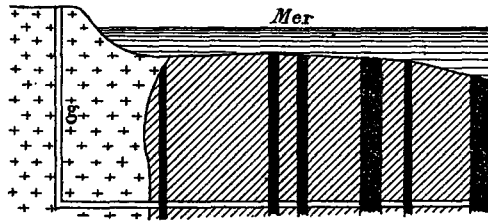


Fig. 254. — Coupe transversale du gîte de Diélette.
g, granite. — Couches de minerai dans le terrain métamorphique.

gangue que des lamelles de chlorite et de calcite, qui établissent parfois des divisions prismatiques dans la roche et en facilitent l'abatage. Quelques filets de pyrite et de calcite recoupent à la fois le minerai et les roches encaissantes. Enfin, on a rencontré, dans la masse, du grenat, de l'amphibole, de l'épidote et des traces d'or. L'analyse moyenne donne :

Fer.	Manganèse.	Phosphore.	Silice.
57,36	0,071	0,240	11,87

Des filons de porphyre traversent nettement les strates.

Ardenne Franco-Belge[1]. — Au S. W. du massif de l'Ardenne, depuis Trelon jusqu'à Momignies en Belgique, on connaît, dans l'éifélien (7), des

[1] 1909. CAYEUX. *Minerais de fer primaires*, p. 206 à 227.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

minerais de fer, dits à tort oolithiques, mais qui, en réalité, paraissent avoir été formés d'abord principalement par une accumulation grenue de débris organiques calcaires associés avec des oolithes, dans laquelle se sont développées de la sidérose, puis de la chlorite, puis de l'hématite, avec silicification continuée jusqu'à nos jours.

Bassin de Namur (Belgique)[1]. — Le famennien (10) du bassin de Namur renferme un minerai de fer oolithique, comprenant par exemple à Ville en Waret (Vézin) deux couches ferrugineuses de 0,20 m. à 0,50, séparées par un banc de schiste. Le niveau forme une grande cuvette avec des plissements intérieurs. On l'a exploité jusqu'en 1875, époque où cette industrie a été arrêtée par le développement des exploitations de minette toarcienne. Ces minerais oolithiques abondent en grains de quartz clastiques: ils renferment dans un seul gisement, aux Isnes, des organismes.

Hesse-Nassau[2]. — Nous nous contentons de rappeler à cette place les minerais des Alpes Styriennes décrits plus haut comme dus à des substitutions dans le dévonien, mais souvent réputés sédimentaires. Une difficulté analogue se présente pour les minerais signalés ici. Il existe, dans la Hesse et le Nassau (districts de la Lahn et de la Dill) des gisements d'hématite, qui ont été généralement décrits par les auteurs allemands comme intercalés sédimentairement au sommet du dévonien moyen (givétien, 8) au-dessus d'un tuf diabasique, sous le calcaire à goniatites du dévonien supérieur, et que nous laissons, dès lors, à cette place, faute d'observations personnelles contradictoires, malgré les doutes que nous inspire l'hypothèse compliquée à laquelle, comme on va le voir, les auteurs allemands ont été amenés[3]. La constance de niveau a paru une objection à l'idée d'une intrusion ultérieure, qui offre néanmoins bien des vraisemblances. On a également fait remarquer l'existence, dans la couche, de coquilles ayant gardé leur test, et, par exemple, d'orthoceras à cloisons encore calcaires et le prolongement du gisement jusqu'à au moins 150 m. de profondeur.

Certains traits avaient, néanmoins, conduit, depuis longtemps, Bischof a voir là un gîte secondaire, qu'il avait à tort attribué à un simple lessivage des diabases. Mais, en réalité, une partie des diabases est certainement postérieure au minerai et la diabase au contact du gîte n'a été nullement appauvrie en fer.

E. Harbort imagine donc des éruptions de diabases sous-marines avec dégagement de chlorure de fer ayant pu, en présence du carbonate de calcium renfermé dans l'eau, donner du chlorure de calcium et de l'oxyde de fer hydraté, transformé en oligiste.

[1] 1875-1883. Mourlon. *Monographie du Famennien*, p. 98 et 99. — 1889. Gosselet. *L'Ardenne*, p. 600 et 601.

[2] 1902. Lotz. *Die Dillenburger Rot und Magneteisenerze* (Z. d. D. G. G., t. 54, p. 139-141). — 1903. E. Harbort. *Zur Frage nach der Entstehung gew. Devon Rotheisenerz* (N. J. f. Min., t. I, p. 179-192). — 1904. Krecke. *Sind die Roteisensteinlager des nassauischen Devon prim. od. sec. Bil.* (Z. f. pr. G., p. 348). — 1906. Hatzfeld. *Fachingen* (Z. f. pr. G., p. 315-364). — 1910. Einecke et Köhler. *Iron Ore Resources of the World*, p. 676.

[3] Il en a déjà été question, p. 399, à propos des substitutions.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

L'étude faite par Hatzfeld des gîtes de *Fachingen* sur la Lahn a montré trois affleurements parallèles conformes aux plissements du terrain et situés dans la même position stratigraphique. Pour lui, les eaux avaient commencé à se charger de sels de fer par les éruptions diabasiques et, peu à peu, la teneur en carbonate de calcium s'est élevée assez pour amener leur précipitation. Nous nous contentons de mentionner cette théorie discutable. L'argument des coquilles calcaires conservées, qui paraît avoir surtout entraîné la conviction, et qu'on a également reproduit pour les minerais d'Elbingerode dans le Harz, nous semble lui-même peu conséquent; car tous les sédiments ferrugineux ont contenu des coquilles calcaires et l'on observe constamment, quand un calcaire avec coquilles commence à s'attaquer, que les coquilles spathiques résistent davantage.

Les gisements de la Lahn ont, de 1828 à 1893, produit, d'après Krahmann, 23 MT d'hématite rouge et 18 MT de limonite.

A *Elbingerode* (Harz), où l'on travaille depuis 500 ans, les hématites, dont il a été question précédemment [1] à l'occasion des gisements de substitution, sont dans un calcaire à stringocéphales à la base du dévonien supérieur et forment, sur 4 km. de long, des amas pouvant atteindre 30 m. de large. Ici aussi des intercalations de diabases les acompagnent, les unes à leur mur, les autres à leur toit. D'autres minerais se sont produits par l'altération des orthophyres et diabases. Pour Harbort, ce sont des couches sédimentaires, en raison des alternances de calcaires et d'hématite qu'il a remarquées à Tännichen, de la présence de coquilles calcaires dans le minerai et de l'intercalation à un niveau constant. Nous avons déjà dit que, dans ce cas au moins, l'idée d'une substitution filonienne nous semblait beaucoup plus probable.

Asturies. — Nous avons précédemment signalé les minerais siluriens des Asturies, qui sont une réserve pour l'avenir ; mais on exploite déjà (75 000 t. en 1903) des couches intercalées dans le dévonien inférieur et moyen. Ce sont des hématites pures en phosphore et à haute teneur (50 p. 100), mais trop siliceuses pour que la réduction se fasse bien au haut fourneau. On designe sous le nom de *carreño* un minerai situé dans le dévonien moyen au Sud du cap de Peñas, dans les vallées de Perlora, de Piédeloro et de Candas (entre Gijon et Avilès). Le type *trubia*, moins siliceux et plus calcaire, se trouve dans les concessions de la S^{te} de Mierès à Naranco, près d'Oviédo, ou dans la vallée de Quiros, le long de la ligne de Barzana à Trubia.

D'après Adan de Yarza, le dévonien de la province d'Oviédo contient, sur 100 km. de long, 6 couches de grès ferrugineux, tenant 32 à 52 p. 100 de fer avec 0,05 à 0,8 p. 100 de phosphore, qui représentent, paraît-il, un cube de plusieurs centaines de millions de tonnes.

Terre Neuve [2]. — L'île de Great Bell, dans Conception Bay, est formée de grès dévoniens en bancs tantôt épais, tantôt minces, avec des délits

[1] Tome 2, page 399.

[2] 1909. CHAMBERS. *Canadian mining journal*, 15 fév. — 1910. J.-P. HOWLEY. *Iron ore resources of the world*, p. 747-752, avec planches.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

schisteux. Au sommet et à la base de cette série, les schistes dominent et c'est là que l'on trouve les niveaux ferrugineux interstratifiés au nombre de 12, dont 10 vont de 0,30 à 5 m d'épaisseur.

Jusqu'ici, on n'exploite que les deux plus importants, dont l'épaisseur est de 4 m. Les couches, faiblement inclinées, disparaissent sous l'eau de la baie, mais ne reparaissent pas sur l'autre bord. Leur cubage conduit, d'après J. P. Howley, à 112 MT, dans la seule île de Great Bell et, si on compte les terrains situés sous la mer, au total énorme de 3635 MT. C'est une hématite rouge à 54 p. 100. Les exploitations ont commencé en 1899 et ont produit 7 MT jusqu'en 1909.

IV. — MINERAIS CARBONIFÈRES [1]

Généralités. — Les minerais de fer sont fréquents dans les bassins houillers. Ils y ont tout spécialement attiré l'attention, tant par suite du soin spécial avec lequel ces terrains ont été fouillés de fond en comble que pour la valeur particulière prise par ces minerais au voisinage du combustible propre à les élaborer. Cependant aujourd'hui les exploitations de ce genre ont, pour la plupart, disparu.

Nous voyons, dans cette période carbonifère, dominer presque exclusivement une forme minéralogique que nous avons déjà rencontrée dans les terrains précédents, mais transformée alors en grande partie et peroxydée, et qui, ici, subsiste seule toutes les fois que le gisement n'a pas subi une altération superficielle : c'est le carbonate ou sidérite. Ce carbonate ne présente pas, d'ordinaire, la structure oolithique, dont nous avons signalé la généralité dans les bassins marins normaux. Ici on a : soit des lits continus, généralement noircis par de la houille ; soit des nodules, auxquels nous laisserons leur nom habituel de sphérosidérite, bien que ce nom soit minéralogiquement inexact, ne devant s'appliquer qu'à de la sidérite réellement sphérolithique à l'examen microscopique.

1° Les lits continus sont formés d'une véritable roche, où la sidérite, parfois un peu calcique et magnésienne, s'associe avec de l'argile, des grains de quartz, du charbon, et des oxydes de fer secondaires. Quand le charbon n'est pas trop abondant, cette roche est gris jaunâtre ; elle devient noire en se chargeant de houille et constitue alors le *kohleneisenstein* des Allemands, le *blackband* des Anglais. Les minerais gris tiennent jusqu'à 48 et 50 p. 100 de fer ; les noirs descendent à 39 ou 40. Ces minerais sont d'ordinaire très phosphoreux, au point de passer progressivement au type des phosphates noirs décrits dans un chapitre précédent et de pouvoir être employés à la fabrication des superphosphates.

2° Les nodules sont d'un jaune clair, à aspect finement grenu quand ils sont très purs, mais pouvant passer à des teintes brunes ou noires. Quelquefois on constate, au centre, un débris organique, qui a servi de noyau d'attraction et qui a fourni le phosphore ; mais le même rôle peut être joué par un élément minéral et il existe aussi des nodules creux, avec fentes de retrait caractéristiques à cristaux de sidérite. Les cristaux de pyrite y

[1] 1856. Rogers. *On the origin and accumul. of the Protocarb. of Iron in the Coal Measures* (Proc. Bost. Soc. Nat. Hist.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sont fréquents. Parfois aussi, comme à la mine du Treuil (Loire), il y entre de la galène, de la blende, de la barytine et ces éléments peuvent devenir assez abondants pour donner l'idée d'un gîte filonien, comme à Palmesalade (Gard).

Ces formations sont, dans le cas normal que nous allons seul étudier ici, nettement sédimentaires et contemporaines des couches schisteuses, au milieu desquelles elles s'intercalent. Mais il faut, avant d'aller plus loin, en distinguer avec soin les substitutions filoniennes, qui peuvent se rencontrer également à l'état de sidérite dans les calcaires carbonifères, et que nous avons déjà étudiées, notamment dans le Cumberland. Il y a, entre l'un et l'autre cas, des différences qui généralement sautent aux yeux : nature de la roche encaissante, schisteuse ou gréseuse dans le premier cas, calcaire dans le second ; allure en couches régulières, ne dépassant guère 1,50 à 2 m. pour les vrais sédiments, au lieu d'amas limités pouvant avoir 20 à 30 m. pour les substitutions; passage progressif au calcaire encaissant stérile par des calcaires ferrifères dans ce second cas ; enfin forte teneur en phosphore des sédiments, contrastant avec la pureté en phosphore de la plupart des substitutions. Quelques cas intermédiaires, comme celui de Palmesalade, peuvent prêter à la discussion.

Quand on se borne donc au cas des sédiments carbonatés réels, on constate qu'ils se sont déposés dans des bassins lacustres ou saumâtres, à sédiments terrigènes abondants, en présence de matières réductrices végétales. Il est logique de supposer que le remaniement des roches, auxquelles sont dus les sédiments sableux ou vaseux, a mis en dissolution dans l'eau des sels de fer susceptibles de se reprécipiter sous l'action des carbonates et de l'acide carbonique en excès. Le rôle joué par les végétaux en macération dans la production de cet acide carbonique est caractérisé par l'association des sidérites charbonneuses (kohleneisenstein) et celui des organismes de tout genre par l'abondance du phosphore.

Nous avons dit que les sulfures métalliques y sont fréquents et, si parfois on a pu songer à une intrusion filonienne, dans la plupart des cas, la précipitation sédimentaire de ces sulfures, qui correspond d'ailleurs avec des observations du même genre faites dans d'autres terrains, ne laisse pas de doute sur leur mode de formation. Il est probable que des minerais métalliques, empruntés à quelques filons détruits par l'érosion sur les parois du bassin, ont donné des sels emportés par les eaux et précipités dans les conditions où se produit si constamment la cristallisation de la pyrite. La possibilité d'une telle réaction, que nous avons déjà eu l'occasion d'étudier[1], peut être retenue quand il s'agira d'interpréter des gisements comme ceux du Mansfeld et de divers autres bassins permiens, où des sels, surtout cuprifères, se sont déposés sur des matières organiques, imprégnations bitumineuses ou charbons.

France (Le Treuil, Palmesalade, Ronchamp, etc.)[1]. — En France, les sidérites houillères, sans avoir nulle part donné lieu à une exploitation bien importante, ont pourtant été souvent signalées et concédées.

[1] Tome I, page 232.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dans le bassin de la Loire, le fer carbonaté *de la mine du Treuil* forme trois couches comprises entre deux couches de houille. Dans la couche supérieure, le minerai se présente en plaquettes, tandis que, dans les deux autres, il est en rognons irrégulièrement distribués, mais très riches. Ce minerai est dans un schiste argileux avec traces de galène, de blende et quelques cristaux de barytine. A Firminy, il existe de la sidérite sphérolithique.

De même, dans l'*Aveyron*, le fer est disséminé dans les schistes qui avoisinent la houille, au-dessus de la grande couche de houille. A Tramont, il atteint une épaisseur de 1 à 4 m.

La sphérosidérite d'*Aubin*, fortement phosphoreuse, est utilisée par l'aciérie Thomas de Decazeville. On en connaît 700 000 t. Le minerai est calciné avant passage au haut fourneau avec 30 p. 100 de perte.

A *Ronchamp* (Vosges), les nodules renferment des amas de pyrite, de galène, de blende, et de barytine.

Dans le Gard, on trouve le gisement beaucoup plus problématique de *Palmesalade* [1].

Le minerai de Palmesalade a été exploité avec une assez grande activité jusqu'en 1872, et, par ses qualités particulières, a fait la réputation des fers marchands de l'usine de Tamaris. Depuis 1872, la mine a été noyée et abandonnée par la Compagnie des fonderies et forges d'Alais, à laquelle elle appartenait.

Ce gisement est situé dans le terrain houiller, au mur de la couche de houille Sans Nom. Il comprend 9 couches, qui ne sont à proprement parler que des amas stratifiés d'une épaisseur totale de 14 m. Il est composé de carbonate de fer spathique, assez différent de celui des sphérosidérites et contenant des minerais sulfurés divers, galène, quartz, blende, cuivre gris, bournonite, etc. A. Lacroix, en conséquence, l'a considéré comme filonien; cependant des nodules du même bassin renferment de semblables sulfures métalliques.

Bassin de la Ruhr [2]. — La formation houillère du bassin de la Ruhr, en Westphalie, renferme, surtout dans les couches inférieures de houille maigre, en particulier dans les régions d'Essen, de Bochum et de Hörde, des dépôts interstratifiés, dits de *kohleneisenstein* (minerai de fer du charbon), auxquels le blackband des Anglais est assimilable. Ces dépôts sont formés d'un mélange intime de carbonate de fer, de houille et d'argile tenant 39 p. 100 de fer (60 après grillage). Leur structure schisteuse et leur couleur noire les avaient fait longtemps prendre pour des schistes houillers. La forte proportion de phosphore qu'ils contiennent par

[1] Emilien Dumas. *Statistique géologique du Gard* (3e partie). — Sarran. *Sur Portes* (B. Soc. Ind. Min., t. 14). — 1884. Czyskowski (B. Soc. Ind. Min., p. 325 ; contient quatre coupes). — 1884. Peyre. *Sur le gisement de fer carbonaté de Palmesalade* (B. Soc. Ind. Min., 2e, t. 13, p. 5, avec planches). — 1909. Lacroix. *Min. de la France*, t. 3, p. 603 et 619.

[2] 1851. Carnall. (Z. d. deutsch. geol. Ges., t. 3, p. 3). — 1852. Herold. (Verh. d. nat. Ver. d. pr. Rheinland. t. 9, p. 606). — 1857. R. Peters. *Das Spateisenstein der westfalischen Steinkohlenform.* (Z. d. V. Deutsch. Ing., t. 1, p. 155). — 1868. Baumler. *Ueber das Vork. der Eisensteine im West. Steinkohlengeb.* (Z. f. B. u. H. Preus., t. 17, p. 423). — 1892. W. Runge. *Das Ruhr-Steinkohlenbecken.* Berlin, p. 70-73.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

endroits nuit souvent à leur qualité. On les voit même passer à de véritables phosphates noirs, analogues à ceux dont il a été question dans un chapitre précédent [1].

A *Hörde*, on connaît 6 ou 8 couches, dont la plus épaisse a 1,50 m., avec intercalations de schistes.

A *Kirchhörde*, il existe une couche de 0,60 m. de puissance, ayant une inclinaison de 60 à 70°, qui se trouve au toit de la couche de houille la plus profonde. Ce minerai a l'inconvénient d'être pyriteux et phosphoreux.

A *Bochum*, on signale une couche de 0,40 m. à 0,50 m., qui, vers l'Ouest, passe à une couche de houille.

On connaît également une couche de sidérite proprement dite, qui atteint rarement 1,40 m. d'épaisseur, mais qui a pu être suivie sur des kilomètres de long. Ce n'est pas, en réalité, une couche continue, mais de longues intercalations lenticulaires séparées par des terrains inutilisables. Le minerai gris jaunâtre cristallin et sans schistes, tient jusqu'à 45,7 de fer (65,3 après grillage). Généralement, cette couche est accompagnée à son mur par un banc charbonneux de 0,30 m. tandis qu'au toit on retrouve des noyaux de sphérosidérite. Elle suit toutes les inflexions des terrains. Abandonnée aujourd'hui, elle a été surtout exploitée à Striepel.

Enfin l'on rencontre encore, dans les schistes houillers inférieurs de cette région, de nombreuses concrétions en formes d'amandes de sphérosidérite ; on en a cité une à Bochum qui avait 2,50 m.

Dans tous ces cas, on a affaire à du carbonate de fer déposé, non pas au milieu de calcaires, plus ou moins ferrugineux au contact avec substitution probable ou possible, mais entre des schistes argileux, par conséquent à une couche dont l'origine sédimentaire (au sens où nous l'entendons partout ici), ne paraît pas douteuse.

En 1890, on extrayait encore 167 000 t. dans la Ruhr. Aujourd'hui, cette exploitation est tout à fait abandonnée.

Saarbrück [2]. — Dans le bassin de Saarbrück, le fer se présente en véritable sphérosidérite brunâtre renfermant des restes de fossiles. Ces noyaux, par exemples à *Lehrbach et Börschweiler*, forment des couches relativement continues.

Silésie [3]. — Le bassin houiller silésien renferme de même de la sphérosidérite dans les couches argiloschisteuses de la partie supérieure du houiller, sous forme de masses lenticulaires pesant quelquefois plusieurs centaines de kilogrammes.

Quelques exploitations sans grande importance se trouvaient, vers 1860, du côté de Kattowitz et Ruda, vers Myslowitz et dans la région de Dubensko, Orzesze et Ornontowitz. Aujourd'hui on est tombé à 4 000 t. On a cru constater que le minerai se rencontrait surtout au-dessus des gouttières formées par les couches de houille, c'est-à-dire là où ces couches sont les moins épaisses.

[1] Tome I, page 667.

[2] 1853. NÖGGERATH (Rheinland Westphalen, t. 4, p. 382).

[3] 1870. F. RÖMER. *Geologie von Oberschlesien*, p. 533 et 534.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Angleterre, Écosse, etc.[1]. — En Angleterre et en Écosse, le carbonate noir, ou *blackband*, peut être considéré comme un des éléments constituants du terrain houiller.

Phillips-Louis en signale deux gisements principaux : l'un dans le South-Wales ayant produit, en 1880, 170 000 t. de minerai à 21-28 p. 100, qui comprend surtout la couche Three-Quartier Balls exploitée à Ebbwale, Blaenafon, etc. ; le second en Ecosse, où l'on a extrait en 1881 jusqu'à 1 400 000 t. de blackband et, en 1894, encore 631 000 t. En Ecosse, il y a deux groupes : l'un supérieur avec 7 couches, dont la principale épaisse de 0,9 ; l'inférieur avec trois couches de 0,30 m. Ces minerais très charbonneux peuvent être grillés sans addition de combustible et laissent alors un produit à 50-70 p. 100.

Etats-Unis[2]. — Aux Etats-Unis également, les gisements de « blackband » sont nombreux dans le carbonifère, ou, exceptionnellement, le trias de l'Est, en relation avec le bassin des Appalaches. On en retrouve l'équivalent dans les couches charbonneuses crétacées de l'Ouest : ce faciès reparaissant toutes les fois que reparaissent les mêmes conditions de dépôt.

Ces blackband carbonifères ont eu de l'importance dans la Pennsylvanie occidentale et les parties voisines de l'Ohio, West Virginia, et Kentucky. Les couches charbonneuses supérieures (Upper coal Measures) renferment le Pittsburg Iron Ore group, qui se développe dans le comté de la Fayette. Mais le principal niveau ferrifère est dans l'étage inférieur : soit sous la forme de couches continues, soit en nodules de carbonate dans l'argile, avec altération ordinaire en limonite.

V. — MINERAIS DU PERMIEN ET DU TRIAS

Là où le permien prolonge en Europe le régime du carbonifère avec des couches de combustibles analogues, on y retrouve de semblables sphérosidérites, sans grande importance, et nous venons de signaler, aux Etats-Unis, des formations de ce genre associées à du charbon jusque dans le crétacé.

On peut citer, dans le *bassin de la Sarre*, le minerai de fer de *Lebach*, qui consiste en quelques couches argileuses renfermant, sur environ 20 m. d'épaisseur, des rognons de minerai de fer argileux. Il existe également, à *Osnabrück*, un puissant amas de fer spathique et d'hématite brune ayant 11 m. d'épaisseur et situé dans le permien.

Il ne faut pas confondre avec ces gisements les cas où des substitutions ont pu se produire sur des dolomies permiennes, comme dans le Thuringerwald ou dans le muschelkalk triasique, comme en Silésie, dans le Gard, l'Ardèche, etc.[3]

En réalité, le permien et le trias marquent, dans l'Europe centrale, une interruption caractéristique des dépôts ferrugineux correspondant avec

[1] 1896. Phillips-Louis. *Ore deposits*, p. 285 et 323.

[2] Kemp. *Ore depos. of Un. St.*, p. 86-88.

[3] Voir tome 2, pages 395, 399.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

un régime spécial continental ou lagunaire, dans lequel les remaniements de sels ferreux paraissent avoir été surtout appelés à prendre, par oxydation à l'air sous un climat désertique, la forme des argiles bariolées et des grès rouges, sans que la concentration du fer ait formé de vrais minerais.

VI. — MINERAIS INFRA-JURASSIQUES

Contrairement à l'observation précédente sur la pauvreté en localisations ferrugineuses de la période permo-triasique, à nombreux sédiments gréseux, quand les sédiments argilo-calcaires recommencent à dominer dans l'Europe Occidentale et Centrale avec un progrès marqué des mers entraînant des dépôts plus calmes à moindre proportion d'éléments clastiques, pendant le lias ou encore pendant le jurassique moyen, les dépôts ferrugineux redeviennent très abondants. La France est particulièrement riche en minerais de cette période, qui existent également en Angleterre et en Allemagne.

1° MINERAIS HETTANGIENS (21)

Thostes et Beauregard (Côte-d'Or)[1]. — L'hettangien inférieur (lumachelle de Bourgogne ou pierre-bise des carriers), renferme, en Bourgogne, une couche de minerai de fer de 1, 25 m. d'épaisseur à 35 p. 100 de fer, qui a été autrefois exploitée à Thostes et à Beauregard. Sur une portion du gîte, des actions postérieures ont enrichi le minerai à 67 p. 100, en le concentrant dans une couche proportionnellement plus mince. Dans la même région, à Vic-sous-Thil, la lumachelle est, par un phénomène différent, imprégnée de galène et de barytine, correspondant aux silicifications noirâtres avec barytine, fluorine, cuivre et fer qui existent dans le sinémurien (22) près de Thostes.

Mazenay et Changes (Saône-et-Loire)[2]. — Les gîtes de Mazenay et Changes (Saône-et-Loire), qui, pendant longtemps, ont alimenté presque exclusivement les hauts fourneaux du Creusot, appartiennent à la partie supérieure de l'hettangien, dite foie de veau.

Le minerai à gangue calcaire contient 25 à 28 p. 100 de fer, 0,15 de manganèse, 0,13 à 0,17 de soufre, 0,44 à 0,45 de phosphore.

La coupe de Changes montre le minerai de fer épais de 0,70 m. au-dessus d'un calcaire cristallin bleu passant au jaune foncé (0,70 m.) et sous le lias bleu à gryphées.

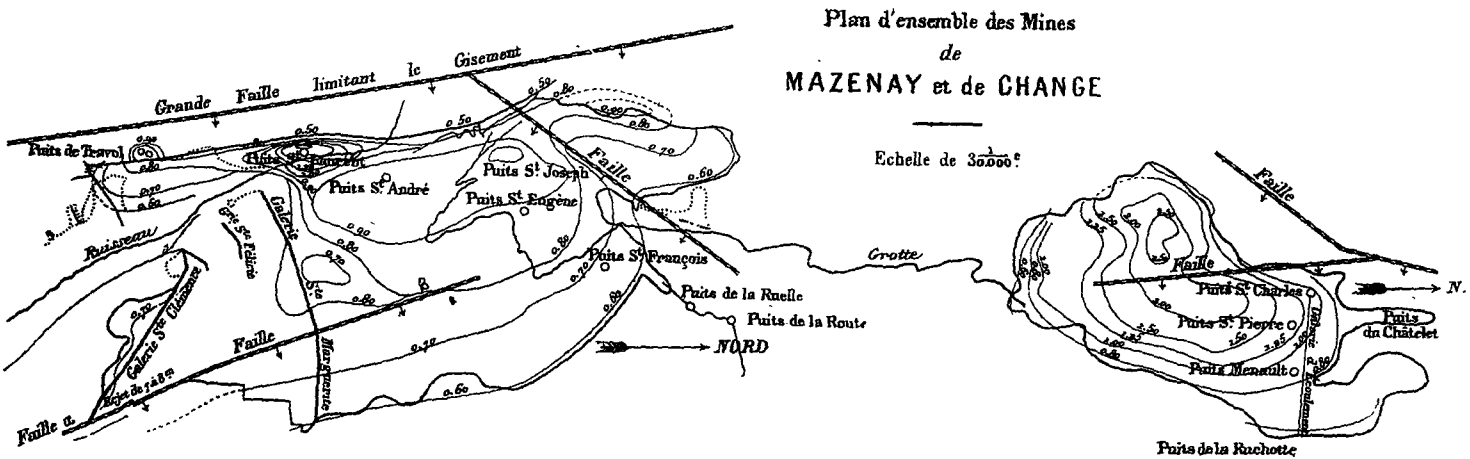
Au-dessous, il apparaît déjà quelques oolithes ferrifères. Le soubassement granitique est voisin.

Le gîte, dont la puissance varie entre 0,60 m. et 2,50 m., comme le

[1] Coll. Ecole des Mines, 1923. — 1867. Evrard. *Le plateau de Thostes et ses mines de fer* (Rev. Un. Mines, t. 22, p. 1). — 1879. Collenot. *Réunion de Semur* (B. S. G. F., 3°, t. 7, p. 788. Cf. *Descript. géol. de l'Auxois*, 1873).

[2] Coll. Ecole des Mines, 1922. — 1902. Camusat. *Géologie des minerais de fer oolith. de Mazenay* (C. R. Soc. sav. 4 p.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC



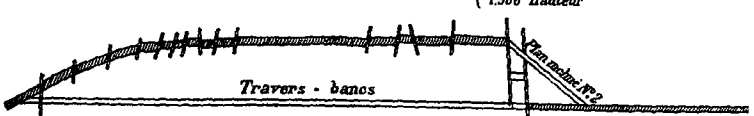


Fig. 255 et 256.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

montrent le plan et la coupe ci-joints (fig. 255 et 256), forme une lentille d'environ 8 km. de long et 1 km. de large. La production, qui a atteint 250 000 t. en 1868, n'était plus que de 128 000 t. en 1890. Elle est tombée à 49 000 t. en 1908; ce qui a amené l'usine du Creusot à importer de plus en plus des minettes du bassin de Brucy. Au total, le gisement peut avoir contenu 7 MT.

2° MINERAIS SINÉMURIENS (22)

En Allemagne, on exploite, près de *Harzburg*, à Bündheim, sur le versant Nord du Harz, un beau gîte d'hématite brune oolithique appartenant à la zone à Amm. Bucklandi[1]. L'épaisseur totale est de 12 m; les couches très redressées comprennent quatre bancs de minerai très riches en fossiles à grains finement oolithiques, ayant ensemble 4,10 m. de puissance. La teneur moyenne en fer est de 44 p. 100.

3° MINERAIS CHARMOUTHIENS (23)

Cleveland. — Le principal niveau de fer Charmouthien est celui du Cleveland anglais[2], où un lit de fer carbonaté terreux, dit Main Seam, épais de 2,50 à 3 m, et atteignant parfois 5 m., est activement exploité et fournit à lui seul la plus grande partie de la production anglaise.

Ce minerai, désigné parfois sous le nom de carbonate de Whitby, s'étend sur près de 750 km², dont un cinquième exploitable.

La coupe complète est, d'après H. Louis, la suivante :

Oolithe inférieure.	Dépôts d'estuaire	
Lias supérieur.	Schistes alumineux	40 m.
	Terrain à jayet.	15 m.
	Schistes gris	10 m.
Lias moyen série ferrugineuse.	Schistes	0 à 3 m.
	Couche principale (Main seam).	2 à 4 m.
	Schistes	1 à 1,30
	Couche à pecten.	0,60 à 1,30
	Schistes	1 m.
	Couche de deux pieds	0,40 à 0,60
	Schistes	8 m.
	Couche à avicula	0,60
	Schistes	

La couche principale seule exploitée, a atteint près de 4 m. à ses affleurements (Eston, Nab, etc.). Le meilleur minerai est bleuâtre et consiste en un carbonate impur généralement oolithique tenant 40 à 43 p. 100 de fer avec 9 d'alumine, 12 de silice et 1,5 p. 100 de phosphore.

[1] 1874. HANIEL. *Ueber das Auftreten.. des Eisensteins in den Jura-Ablagerung. Deutschlands* (avec bibl.). (Z. d. D. g. G., t. 26, p. 59-118).

[2] 1861. BENICK. *Treatise on the Cleveland ironstones.* — 1873. JOHN JONES. *Sur la géologie du district sidérurgique de Cleveland* (Cuyper, t. 34, p. 67). — STEWENSON. *Sur l'exploitation des minerais de fer du Cleveland.* — 1886. KENDALL. *The iron ores of the english secondary rocks* (Trans. of the North of England inst. min. and mechan. Engin., t. 35, p. 105). — 1896. PHILIPPS-LOUIS. *Ore deposits*, p. 44. — 1910. H. LOUIS. *Iron ore resources of the world*, p. 630.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Hanovre, Souabe, etc. — Sur le continent, on trouve des minerais de fer en divers points au même niveau. Dans le *Hanovre* (Willershausen, Calefeld, Oldershausen), et dans la *Souabe*, ce sont des minerais oolithiques. En *Basse Alsace*, c'est le niveau dit des marnes à ovoïdes avec ses nodules de fer carbonaté. Dans l'*Indre*, c'est une oolithe ferrugineuse.

4° MINERAIS TOARCIENS (24). — LORRAINE ET LUXEMBOURG [1]

Le toarcien contient déjà du minerai de fer au *Stürzenberg*, mais prend surtout une importance exceptionnelle aux confins de la Lorraine fran-

[1] Coll. Ecole des Mines, 1738. — Feuilles de Nancy, Commercy et Metz ; et, 1899. *Uebersichtskarte der Eisenfelder des Westlichen Deutsch. Lothringen*, au 1/80.000. — 1843. Guibal. *Statistique du département de la Meurthe.* — 1849. Husson. *Esquisse géologique des environs de Toul.* — 1849. Levallois. (Ann. d. M., t. 16, p. 241). — 1851. Levallois. *Aperçu de la constitution géologique du département de la Meurthe.* — 1855. Terquem. *Paléontologie du département de la Meurthe.* — 1861. Levallois. *Sur les mines de fer de Floranges* (Moselle). (B. S. G. F., 2e, t. 18, p. 370). — 1862. Fabre. (B. S. G. F., p. 357). — 1873. Habets. *Les minerais de fer oolithiques du Luxembourg et de la Lorraine* (Rev. un. M., t. 34, p. 40. — 1875. Giesler. *Das ool. Eis. in Deutsch. Lothr.* (Z. f. B. H. u. S. pr., t. 23, p. 9-41). — Jacquot, Terquem et Barré. *Géologie de la Moselle.* — 1878. Braconnier. *Description géologique de Meurthe-et-Moselle* (Nancy). — 1879. Lothinger. *Eisenwerke zu Ars an der Mosel.* (Oestz. Zeitsch., p 557). — 1883. Six. *Sur l'origine et le mode de formation des minerais de fer liasiques* (Soc. géol. du Nord, t. 10, p. 121). — 1883. Bleicher. *Minerais de fer de Lorraine* (B. S. G. F. 3e, t. 12, p. 46). — 1885. De Roebe. *Mines de fer du Luxembourg* (Rev. un. Min., t. 9, p. 583). — 1886. Cousin. *Sur l'industrie minérale de Meurthe-et-Moselle.* — 1889. Rémaury. *Sur les mines de fer et us. mét. de Meurthe-et-Moselle* (Mém. Soc. Ing. Civ.). — 1892. Bleicher. *Sur la struct. microsc. du min. de fer ool. en Lorraine* (C. R., p. 590). — 1894. Bleicher. *Le minerai de fer de Meurthe-et-Moselle*, 22 p. (Bull. Soc. Ind. Est). — *Sur la structure et le gis. du min. de fer pisotith. de div. prov. fr.*, in-8°, 10 p. Nancy. — *Sur l'expl. du minerai de fer fort. et oolith. en Lorraine dans l'antiquité*, 6 p., Bull. Arch. — 1894. Van Werveke. *Oolithische Eisenerze* (Z. f. p. G., pr. 400). — *Magneteisen in Minetten* (Z. f. pr. G., 1895, p. 497). — 1894. Stapff. *Oolith. u. ähnl. Eisenerz Körner* (Z. f. pr. G., p. 326). — 1896. Hoffmann. *Die ool. Eis. in Deutsch.-Lothr.* (St. u. Eis., n° 23 et 24). — 1896. Beicher et Beaupré. *Matér. pour l'hist. de la métall. en Lorraine* (Nancy). — 1898. Rolland. *Sur les gis. de minerai de fer ool. du nouveau bassin de Briey* (C. R., 17 janv.). — 1898. Hoffmann. *Das Vork. der ool. Eisenerze in Luxemburg und Lothr.* (V. d. nat. Ver. Jahrg. 55, Bonn., p. 109 à 133 et pl.). — 1898. Greven. *Das Vork. der ool. Eis. im süd Deutsch. Lothr.* (St. u. Eis., n° 1). — 1898. Kohlmann. *Die Minette Form. Deutsch. Lothr.* (St. u. Eis., p. 593-607). — 1899. Albrecht. *Die Minette Ablager. Deutsch.-Lothr. N. W. der Verschiebung von Deutsch. Oth.* (St. u. Eis. p. 305 à 316 et 2 pl.). — 1900. Giraud. *Notes pour servir à l'hist. de la sidér. en Lorraine* (Dunod). — 1901. Pirard. *Sur la partie nord du bassin minier lorrain luxembourgeois* (Rev. un. M., t. 55, p. 108-115). — 1901. Schmidt. *Le gis. des min. de fer du bassin de Briey et de la Lorraine allem.* (Rev. un. M., t. 55, p. 43-107). — 1901. Laur. *Et. du bass. fer. de Briey* (100 p. in-8°). — 1901. Blum. *Zur Genesis der Minette* (Stahl. u. Eisen, p. 1285, 1288; Rev. un. Mines, 1902, p. 241-246). — 1901. Van Werveke. *Bemerk. üb. die Zusam. und die Entst. der Minetten.* — 1901. Ansel. *Die oolithische Eisenerzform. Deutsch.-Lothringen* (Z. f. pr. G., p. 81 à 94). — 1901. St. Meunier. *Sur l'or. des min. de fer ool. de Lorraine* (B. S. Belge géol., t. 15, p. 15-19). — 1901. Limpach. *Hydr. geol. Beitrag zu Minette Vorkommen* (Stahl und Eisen, p. 965-973). — 1902. Rothplatz. *Ueb. die Bild. der Oolithe* (Botan. Zentralbl., n° 35, 4 p.). — 1902. Villain. *Le gis. de min. de fer ool. de la Lorraine* (Ann. d. M., févr. et mars 1903, travail essentiel pour ce bassin ; C. R. 1901, p. 182 à 195). — 1903. G. Link. *Die Bildung der Oolithe und Rogensteine* (N. J. f. Min., t. 16, p. 495-513). — 1907. Nicou. *Le bassin ferrifère de Briey* (La Nature, 28 déc.). — 1905. Bailly. *L'expl. du min. de fer oolith. de la Lorraine* (Ann. d. M., janv.). — 1910. Nicou. *Iron ore resources of the world* (14 p.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

çaise, de la Lorraine annexée et du Luxembourg, où se trouve l'un des plus importants bassins ferrifères actuellement connus, dans le monde. Si on reporte cette zone ferrifère, sur une carte paléo-géographique, on la voit à faible distance au Sud du massif émergé de l'Ardenne et de la Prusse rhénane.

Historique et statistique. — Les minerais lorrains ont été exploités à une époque reculée, qui paraît même antérieure à l'époque gallo-romaine. Abandonnés, puis repris en 1837, mais relativement négligés à cause de la présence constante d'une proportion relativement forte de phosphore, ils doivent leur fortune considérable, dans ces dernières années, à la découverte des procédés de déphosphoration.

On a d'abord et pendant longtemps exploité les minerais siliceux et pauvres du bassin de Nancy, ou les minerais siliceux plus riches du groupe de Longwy et de la Lorraine allemande et les minerais suffisamment calcaires du Luxembourg. Puis des minerais calcaires relativement riches, destinés à compenser les premiers dans les lits de fusion, ont été découverts par deux campagnes de sondages, portant sur le bassin de Briey en 1882-1885 et 1894-1896. Ce sont eux qui assurent aujourd'hui à la France une supériorité incontestable.

Actuellement les exploitations portent : en France, sur les trois groupes de Longwy, Briey et Nancy ; en Lorraine annexée, sur ceux d'Hayange et de Moyeuvre ; en Luxembourg, sur la région de Differdange et Esch-Rumelange (fig. 257).

Autour de *Longwy*, les exploitations s'étendent de Cosnes à Villerupt, surtout dans les communes de Villerupt, Saulnes, Hussigny et Herserange. La présence de nombreuses vallées recoupant les couches a permis de développer les travaux à ciel ouvert. 24 concessions (dont 12 exploitées) ont fourni, en 1908 : 2 280 000 t. (430 000 t. de moins que l'année précédente) ; en 1909, 2 403 000 t. Ce sont, par ordre d'importance décroissante : Hussigny, (325 000 t. en 1908 ; 376 000 t. en 1909) ; Godbrange (365 000) ; Tiercelet (309 000) ; Moulaine, Micheville, Saulnes, etc.

Dans le bassin de Briey, 13 concessions exploitées sur 43, ont donné : en 1908, 4 609 000 t. ; en 1909, 6 311 000 t. On a d'abord mis en exploitation la région de l'Orne, où la mine d'Homécourt a produit 1 472 000 t. en 1909, suivie par Auboué (1 334 000), Moutiers (760 000), Pienne (665 000), Landres (640 000), Tucquegnieux (491 000), Jœuf (438 000). Des travaux plus nouveaux portent sur Jarny, Murville et Saint-Pierremont, dont le minerai est exporté en Allemagne, Droitaumont (au Creusot), La Mourière (Châtillon-Commentry, Pompey et Mokta-el-Hadid), etc... Chacune des exploitations de ce bassin s'outille pour produire 1 200 000 à 1 500 000 t. par an.

La production est d'environ 1 950 000 t. dans le bassin de Nancy (1909), où le principal exploitant est la Société de Châtillon-Commentry et Neuves-Maisons (650 000 t. à Val de Fer et Maron en 1909) ; puis Chavigny-Vandœuvre (180 000 t.), Ludres (172 000 t.), Chavenois (146 000).

En 1885, on produisait 585 000 t. Au total, la Meurthe-et-Moselle produit, dès à présent (1909), 10 673 000 t. ; la Lorraine annexée allemande 14 000 000 t. (1906) ; le Luxembourg 5 800 000 t.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

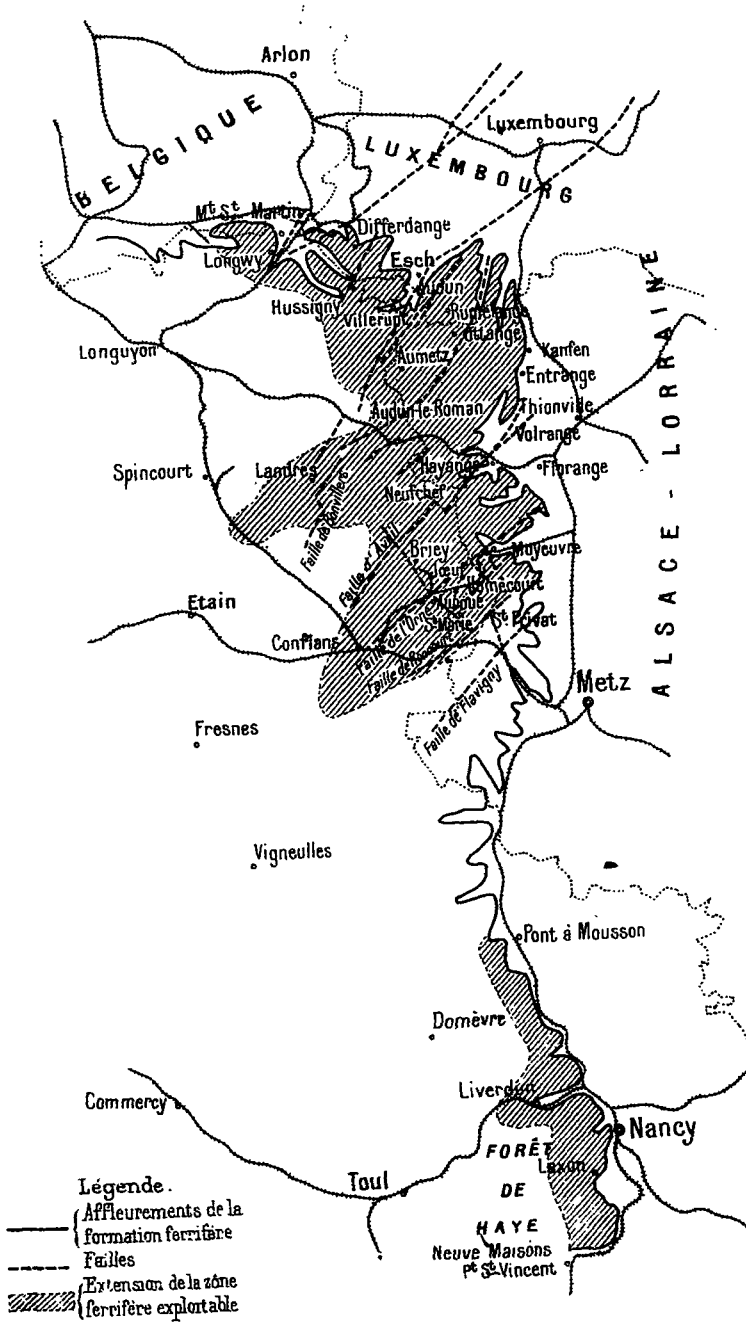


Fig. 257. — Carte de la zone ferrifère lorraine.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nous allons décrire ce bassin, dont l'importance est si capitale pour notre pays, en insistant sur la partie restée française, qui est de beaucoup la plus importante comme avenir industriel et qui, géologiquement, suffit à donner une idée des autres.

Aperçu général. — Un des traits les plus saillants de la structure lorraine est la longue ligne de côtes Nord-Sud qui va de Thionville à Metz et Nancy le long de la Moselle. Constituées d'une manière uniforme, toutes ces côtes sont formées de couches argileuses toarciennes en pente douce, surmontées par des escarpements de bancs calcaires bajociens[1] (fig. 258). C'est presque au contact de ces deux terrains, sous un lit caractéristique de marnes dites micacées ayant au moins 30 m. d'épaisseur, qu'apparaît le minerai de fer sous forme d'une couche ocreuse et grenue. Ce minerai est un oxyde de fer hydraté, à texture oolithique et à gangue

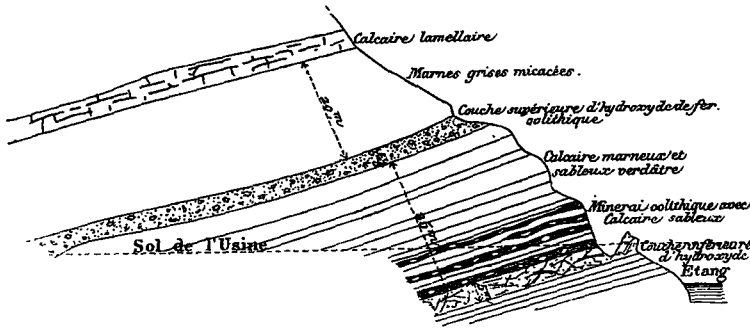


Fig. 258. — Coupe transversale de la vallée d'Ottange (bassin de Longwy).

argileuse, calcaire ou siliceuse, toujours phosphoreux, dont on peut estimer, en moyenne, la teneur en fer à 35-40 p. 100, avec maximum de 40 et minimum utilisable de 20 à 26 et la teneur en phosphore à 0,6 p. 100 environ. En partant du Nord, les affleurement décrivent d'abord une longue zone Est-Ouest de Longwy à Rumelange et Ottange sur la frontière des quatre pays de Belgique, Luxembourg, Alsace-Lorraine et France. Puis ils se coudent brusquement à angle droit et prennent la direction Nord-Sud, passant dans la Lorraine annexée, dont la frontière a été tracée en 1871 de manière à en absorber, suivant les idées géologiques admises alors, la plus grande partie. Enfin ils rentrent en France, toujours suivant la même direction, dans le bassin de Nancy. La longueur de cette zone est d'environ 100 km, mais comprend, entre Nancy et Briey, un intervalle à peu près stérile d'environ 40 km. La largeur exploitable à partir des affleurements, qui n'est guère que d'une dizaine de kilomètres aux deux extrémités vers Longwy et vers Nancy, atteint, au contraire, le double près de Briey, avec des minerais de qualité supérieure : ce qui a permis le très grand développement récent

[1] L'oxfordien, qui aujourd'hui n'apparaît que beaucoup plus à l'Ouest, a été enlevé par l'érosion, ainsi qu'une grande partie du bathonien et des alluvions.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des exploitations dans cette région, par mines relativement profondes, sous 100 à 250 m. de morts-terrains.

Toute cette formation plonge en pente douce de 1 à 2 p.100 vers le centre du bassin de Paris, comme les autres couches jurassiques et l'on peut remarquer aussitôt qu'il en résulte, dans les parties les plus basses du gîte, la formation de nappes aquifères sous pression, ayant entraîné une certaine gêne au début pour la mise en valeur.

On estime, de la manière suivante, les superficies occupées par les couches de minerais exploitables :

Luxembourg		3.600 hectares	300 MT.
Lorraine allemande		43.000 —	2.000 —
Meurthe-et-Moselle	Nancy	18.500 —	200 —
	Briey et Longwy	43.100 —	2.300 —
	Bassin siliceux de la Crusne		500 —

Contentons-nous de noter que la Lorraine renferme un autre minerai, dit minerai de fer fort, formé de grains oolithiques empâtés dans l'argile rouge et disposés en poches superficielles dans les calcaires de l'oolithe. Ce minerai résulte d'une remise en mouvement qui a eu pour effet de l'épurer. Autrefois recherché, il est abandonné depuis 1882, date de l'extinction du dernier haut fourneau au bois. Nous en dirons quelques mots plus tard [1].

Nature du minerai. — Les oolithes, qui sont la partie riche du minerai toarcien, ont une forme sphéroïdale, souvent aplatie et un diamètre de un demi à un quart de millimètre. Chacune est composée de couches concentriques de peroxyde de fer hydraté plus ou moins argileux ; la surface est, en général, lisse, brillante et de couleur brune avec nuances variant du jaune au rouge. L'analyse des oolithes bien isolées donne une teneur en fer de 53 p. 100.

Le ciment, qui réunit les oolithes, est un mélange en proportions variables d'argile, de calcaire et de silicates ou silico-aluminates de fer, unis quelquefois à du carbonate de fer. Composé, dans certains minerais, de calcaire pur, il est alors blanc ou grisâtre ; ailleurs, il est gris noirâtre, vert, ou, plus souvent, d'un brun ocreux ; au voisinage de la surface, il passe au jaune ou au rouge par suroxydation. La couleur verte indique la prépondérance du protoxyde de fer. De petits grains de quartz arrondis accompagnent souvent les oolithes. La teneur en fer du ciment ne peut dépasser 35 p. 100.

En moyenne, la teneur en fer du minerai utilisé varie entre 30 et 40 p. 100, comme le montre le tableau 34. Si elle descend au-dessous de 30 p. 100, le minerai n'est plus utilisable jusqu'à 20 ou 25 p. 100 que comme mélange (calcaire ferrugineux) et seulement quand la gangue est calcaire. La proportion du phosphore varie entre 0,2 et 1 p. 100 ; celle du soufre ne dépasse guère quelques dix-millièmes (0,06 dans la couche grise de Briey).

Un bon minerai type est un minerai à 40 p. 100 de fer, 9 de chaux,

[1] Tome 2, pages 520 à 522.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

6 de silice, 6 d'alumine et 1 de phosphore. Suivant Villain, il y a, très régulièrement, un rapport de 2 à 100 entre la teneur en phosphore et la teneur en fer[1].

TABLEAU 34. — ANALYSES DE MINERAIS LORRAINS

Nom des concessions	Bassin	N° des couches	Perte au feu	SiO^2	Ph^2O^5	SO^3	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	Fe
Pompey	Nancy	1re	20,00	5,60	0,12	0,06	51,70	7,40	14,30	0,30	36,20
Liverdun	Nancy	2e	13,00	22,90	traces	traces	31,80	21,40	5,70	2,40	22,30
		2e	16,10	11,40	0,06	»	59,70	10,90	1,30	1,00	41.90
Chavigny-Vandœuvre	Nancy	3e	20,80	19,30	0,06	traces	30,80	10,90	14,40	3,20	21,60
		2e	20,10	3,70	0,15	traces	54,30	10,00	7,60	3,50	38,00
Hussigny	Longwy	»	25,60	10,10	traces	traces	37,80	0,63	10,20	0,01	26,20
		»	13,20	15,00	»	»	58,30	0,87	0,37	0,02	40,60
Saulnes	Longwy	»	26,00	10,00	0,06	»	29,80	7,03	25,80	traces	20,88
		»	15,00	16,00	0,19	»	59,70	9,05	3,60	traces	41,80
Joudreville	Briey	grise	17,00	6,70	0,2	»	57,10	8,05	9,20		40,00
La Mourière	Briey	grise	15,00	7,00	»	»	49,40	4,80	15,00		34,60
Giraumont	Briey	grise	15,00	7,40	»	»	58,80	5,74	9,29		41,20

La valeur des minerais dépend, comme nous le rappellerons bientôt, non seulement de la teneur en fer, mais de la chaux, de la silice, de l'alumine, du phosphore, du soufre, etc. Longtemps les minerais calcaires ont fait défaut et ceux que l'on pouvait se procurer en tiraient, dès lors, une valeur toute particulière. Aujourd'hui, bien que leur prix reste supérieur, la mise en exploitation du bassin de Briey en produit des quantités croissantes, qui rendent utilisables, par mélange, beaucoup de minerais siliceux antérieurement négligés.

Allure du gisement. — Le gisement se compose d'une série de lentilles qui, chevauchant les unes sur les autres, viennent successivement s'intercaler dans une série marneuse, au sommet de laquelle des marnes micacées caractéristiques supportent les premiers calcaires bajociens, tandis qu'à la base on a des marnes vertes gréseuses et pyriteuses[2]. Chacune de ces lentilles n'a qu'une étendue limitée; mais, tant qu'on reste dans la zone exploitable, avant que cette lentille soit amincie, une autre lui succède. C'est ce que montre, en schéma, la figure 226. On a donné aux principales lentilles reconnues dans le bassin de Briey, des noms locaux, auxquels il ne faut attacher qu'une valeur purement conventionnelle. L'étage supérieur est appelé souvent couche rouge; le moyen, couche grise; l'inférieur, couche noire. Il peut exister, en outre, au-dessus de la couche grise, une couche jaune, et, à la base de l'étage inférieur, une couche verte, parfois pyriteuse.

Rarement, dans la même concession, l'on peut exploiter deux couches à la fois. Quand l'une s'enrichit, l'autre s'amincit. Pratiquement les exploitations du bassin de Briey ne portent encore que sur la couche

[1] La teneur minima en phosphore des fontes Thomas ne doit pas descendre au-dessous de 1,70 p. 100. Sans quoi, on manquerait de chaleur. On sait que ce phosphore est aujourd'hui utilisé en grand sous la forme des scories de déphosphoration. (Voir t. 1, p. 670.)

[2] Voir la coupe, fig. 226, p. 416. Ici, comme dans bien d'autres sédiments, on a trouvé un peu de galène et de blende.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dite grise, dont l'épaisseur est de 7 m. à la Mourière et la couche verte inférieure, souvent aussi pyriteuse, mince et siliceuse, n'est envisagée que comme un appoint pour l'avenir. Cependant l'on a eu, à la Côte Rouge, jusqu'à 16 m. d'épaisseur utilisable en cinq couches. Ailleurs, à Micheville, on exploite la couche rouge et la couche grise.

L'épaisseur est très inégale aussi bien que la teneur. Ainsi, dans la région de Landres (Piennes, Mourière, etc.), on arrive facilement à 6 et 7 m. avec des teneurs moyennes de 35 p. 100. Dans le bassin de l'Orne, l'épaisseur utile n'est guère que de $2^m,50$ à $3^m,50$, mais avec des teneurs plus fortes de 40 à 42 p. 100. Nous venons de parler de 16 m. à la Côte Rouge. On admet une épaisseur d'un mètre comme limite absolue d'exploitabilité pour les minerais calcaires et riches dans les exploitations peu coûteuses du bassin de Nancy. Rolland présente même, comme limite, $1^m,75$ avec 30 p. 100 de fer, pour des minerais siliceux.

La puissance totale de la formation du toit au mur varie de 20 à 50 mètres. Entre les bancs réputés minerais dont la teneur dépasse 30 p. 100, s'intercalent souvent, outre les couches stériles, des calcaires ferrugineux à teneur de 15 à 20 p. 100 de fer.

Ces couches de minerai oolithique sont rarement homogènes sur toute leur hauteur et se composent d'une série de bancs de qualités différentes, quelquefois soudés l'un à l'autre avec variation continue de composition, d'autres fois nettement séparés par des « décollements ». Dans les bancs eux-mêmes, le minerai est accidenté par des veinules irrégulières et des rognons lenticulaires d'argile marneuse ou de calcaire plus ou moins ferrugineux, et, vers la base du gisement, par des veinules de fer hydroxydé compact, disposées quelquefois en géodes renfermant une argile sableuse. Les fossiles sont, par endroits, d'une abondance extrême dans le minerai. Certains lits pétris de coquilles et appelés « coquillages » (« Bänkling » en Allemagne) forment souvent la limite des bancs exploitables. On trouve également des fragments de bois fossile ayant conservé leur structure et leur combustibilité.

En plan, il faut encore mentionner un système très développé de failles N.-E., qui semblent se superposer, comme des accidents posthumes, à l'ancien système de plissements hercynien de la région et que l'on peut suivre, le long du massif dévonien d'Ardennes, sur toute la rive gauche de la Moselle au moins jusqu'à Trèves[1]. Quelques fractures orthogonales, dont la principale va de Landres à Briey et Auboué, complètent ces dislocations[2]. Un niveau aquifère, constitué par les couches de minerai ou les calcaires sous-jacents et alimenté par leurs failles qui donnent souvent des eaux ascendantes sous pression, a semblé quelque temps un obstacle grave à l'exploitation[3].

Le premier puits d'Homécourt a rencontré, en 1886, une venue d'eau de 3 à 4 m^3 par minute. Actuellement on arrive à 6 m^3 à Landres et Tucquegnieux et, à la mine Lorraine Orne, en face de Moyeuvre, à 12 m^3 ou, momentanément, 20 m^3.

[1] Voir feuille au 320.000e de Mézières.

[2] Nous verrons que Villain a voulu attribuer à ces failles un rôle enrichissant.

[3] Voir 1905. L. Bailly. *Expl. du min. de fer ool. de la Lorraine* (Ann. d. m., 10e. t. 7, p. 5 à 56).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Origine du gisement. — La formation de ce grand gisement de fer lorrain accuse une sédimentation argilo-calcaire, riche en organismes, qui peut être considérée comme s'étant déposée suivant une bande parallèle aux rivages, assez loin de ceux-ci pour que les éléments clastiques un peu lourds fussent à peu près éliminés, et néanmois dans des eaux encore peu profondes, où les agitations de la surface avaient leur contre-coup immédiat. Le fait que les couches ferrugineuses s'intercalent sous la forme de longues lentilles à divers niveaux dans l'étage, leur continuité stratigraphique, l'existence fréquente au contact immédiat, par exemple au toit de la couche grise dans le bassin de Landres, de lumachelles pauvres en fer, semblent bien indiquer que la production des premiers minéraux ferrugineux a été, sinon immédiate, du moins très rapide et antérieure aux sédiments superposés : qu'elle ne résulte pas, en résumé, d'une introduction filonienne ou continentale très postérieure au dépôt de la couche où on l'observe.

Si on examine la nature des minerais, on y trouve un mélange en proportions variables de sidérite, chlorite et hématite, qui semblent s'être développées par transformation progressive dans l'ordre où nous venons de les énumérer. La proportion de ces divers corps ne paraît pas, quoiqu'on ait affirmé le contraire, en rapport avec le niveau hydrostatique actuel[1], qui influe cependant sur la silicification, sur l'élimination de la chaux et sur certaines remises en mouvement ferrugineuses. Elle est le résultat d'un état de choses beaucoup plus ancien, comme on l'observe dans tous les minerais sédimentaires précédemment étudiés.

En ce qui concerne la forme de dépôt primitive, il est un premier fait incontestable, dont nous avons déjà signalé la généralité, c'est que des organismes calcaires ont collaboré à la formation de ce qui est maintenant le minerai et que la teneur en fer de celui-ci s'est progressivement beaucoup accrue depuis l'instant du dépôt jusqu'à aujourd'hui même, par remise en mouvement de ce fer et élimination du calcaire qui lui était associé. En même temps, par suite, les parties originairement calcaires étaient elles-mêmes transformées en minerai de fer. Faut-il en conclure que tout le minerai était, à l'origine, exclusivement calcaire et que le fer y est uniquement dû à une introduction postérieure, c'est le problème général qui a été discuté au début de ce chapitre[2]. Nous serions disposé à imaginer une précipitation immédiate, ou presque immédiate, de sels de fer, qui attire notre attention parce que les concentrations ultérieures l'ont amenée à un taux utilisable (environ 3 ou 4 fois la teneur moyenne des roches), mais qui, au début, ne dépassait pas beaucoup la moyenne et ne semble pas avoir gêné la vie animale. Pendant les premières phases du dépôt, il semble qu'une assez forte proportion de ce fer se soit unie à du soufre. Plus tard (et, par conséquent, plus haut dans la série), le soufre n'apparaît plus et l'on a eu le mélange du carbonate et du silicate. Ce fer avait-il une origine terrigène, c'est assez pro-

[1] Voir à ce sujet : 1901. Blum (Stahl und Eisen, n° 23). — Villain. *Loc. cit.*, p. 276. Les couches les moins peroxydées, qui sont caractérisées par leur couleur noire ou brune, sont aussi les plus riches en protoxyde de fer.

[2] Tome 2, pages 417 à 420.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

bable. En tout cas, nous nous refusons à admettre un apport effectué, après de longues périodes géologiques, par des sources thermales filoniennes, ou, suivant l'expression de Villain, par des failles nourricières.

La répartition du fer s'est faite dans le sédiment avec une irrégularité comparable à celle de la chaux, de la silice et de l'alumine, se distribuant par taches avec atténuation progressive sur les bords, suivant une disposition que des considérations pratiques ont fait mettre en évidence. Peut-être des courant normaux à la côte, qui semble avoir été grossièrement parallèle à l'affleurement actuel, ont-ils contribué à allonger les zones ferrugineuses exploitables suivant cette direction[1]. La teneur suffisamment ferrugineuse pour donner lieu à un minerai se répartit par lentilles, au centre desquelles on peut atteindre 55 à 60 pour 100 de fer, tandis que, sur les bords, on passe progressivement à de la marne ferrugineuse, réputée stérile.

Résultats économiques. — Dans les exploitations à ciel ouvert, le prix d'abatage du minerai oscille autour de 0 fr. 45 par tonne. Les frais d'abatage et de transport aux remblais des stériles portent le prix de revient sur place entre 1 franc et 1 fr. 50. Le droit au propriétaire du sol varie de 0 fr. 20 à 0 fr. 60.

Dans les exploitations souterraines à couches minces du groupe de Nancy, le salaire de l'ouvrier varie de 0 fr. 80 à 2 francs par tonne de minerai ; il faut ajouter 0 fr. 15 à 0 fr. 50 de boisage, l'entretien, les frais de transport. etc. En somme, le prix de revient à l'usine se tient, en général, entre 2 fr. 50 et 3 fr. 50. Dans les exploitations profondes du bassin de Briey, il faut ajouter quelques frais d'épuisement. En 1890, le prix de vente moyen du minerai, sur le carreau de la mine, était de 2 fr. 90. Ce chiffre, d'après la statistique officielle, s'est élevé à 4 fr. 50 en 1908, 4,25 en 1909.

En 1909, un prix de revient moyen dans le bassin de Briey pouvait s'établir de la manière suivante :

Abatage	1,10 à 1,25
Explosifs	0,15 à 0,25
Roulage et extraction	0,20 à 0.30
Entretien et consommations	0,25 à 0,40
Epuisement	0,25 à 0,50
Frais généraux d'exploitation	0,20 à 0,20
Intérêt et amortissement en 20 ans de 8 millions	0,60 à 0,60
	2,75 à 3,50

La valeur des minerais peut s'apprécier par diverses méthodes suivant que ces minerais sont destinés à l'utilisation dans les usines françaises ou à l'exportation. Dans le premier cas, on admet pour le lit de fusion le plus convenable, les deux équations : $SiO^2 + Al^2O^3 = CaO$ et $\frac{CaO}{SiO^2} = 1,5$, d'où résultent : $Al^2O^3 = 0,5\ SiO^2$; $CaO = 1,5\ SiO^2$. Pratiquement, les minerais contiennent 10 p. 100 d'eau.

[1] Voir VILLAIN. *Loc. cit.*. pl. IV, la disposition des taches qui se trouvent ainsi allongées dans le même sens que les failles.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les exportations s'accroissent d'année en année et doivent s'augmenter encore beaucoup. En 1909, on a atteint 3 900 000 t. dont 2 260 000 en Belgique, 1 400 000 en Allemagne (en partie par les Pays-Bas), 206 000 en Angleterre. Le chiffre de 1908 n'était que de 2 400 000 t. En même temps, nos importations de minerais luxembourgeois et allemands ont baissé de 1 018 000 t. à 863 000 t. de 1908 à 1909.

Jussey (Haute-Saône). — Dans la région de Langres, les concessions de *Jussey* et *Mont de Noroy* portent sur la limite supérieure du toarcien.

Nogent (Haute-Marne)[1]. — En France, on peut encore citer, dans le toarcien, les minerais de *Nogent* et *Chalindrey* (Haute-Marne) qui ont jadis donné naissance à l'importante industrie de la coutellerie nogentaise.

Les minerais de *Saint-Priest, Ferrières*, etc. (Ardèche); ceux de *Villebois* (Ain) et de *la Verpillère* (Isère), pour la plupart abandonnés aujourd'hui, appartiennent également au toarcien.

VII. — MINERAIS MÉDIO-JURASSIQUES ET SUPRA-JURASSIQUES

1° BAJOCIEN. — OUGNEY, ISENAY, PRIVAS, etc.

A la base du calcaire à entroques, *Ougney*, dans le Jura[2], dont l'extraction s'est élevée à 15 000 t. en 1882, a fini par être abandonné en 1889.

L'*oolithe ferrugineuse*, au sommet du calcaire à entroques et à la base du bajocien, a donné lieu en France à un assez grand nombre d'exploitations, pour la plupart aujourd'hui délaissées : notamment dans la Nièvre à *Isenay*, *Vandenesse*[3], *Gimouille*, etc., tous gisements remarquables par l'abondance des fossiles (Amm. Polymorphus, Garantianus, etc.) et généralement phosphoreux. Dans l'Aveyron, le gîte de *Mondalazac*[4] a repris de l'intérêt par la création d'une aciérie Thomas à Decazeville. Dans la *Haute-Saône*, on a exploité la limonite bajocienne à Calmoutiers, Fleurey, Oppenans, Jusey, etc.[5].

C'est également, à peu près le niveau du minerai de *Privas*[6] (Ardèche) qui comprend deux couches distinctes, l'une de 0 m 40 à 18 — 20 p. 100 de fer seulement, encore dépendante du calcaire à entroques et correspondante aux oolithes de Gimouille (Amm. Opalinus, Humprésianus, Garantianus); l'autre, un peu plus élevée, appartenant aux marnes siliceuses de l'oolithe inférieure, que l'on exploite seule et d'où l'on a pu sortir au total 4 300 000 t. (700 000 environ restant, paraît-il, à prendre).

[1] 1878. RIGAUD. *Notice sur les minières de la Haute-Marne* (Ann. d. M., 7e série. t. 14).

[2] Coll. Ecole des Mines, 1926.

[3] Coll. Ecole des Mines, 1927.

[4] Coll. Ecole des Mines, 1928.

[5] 1846. ROZET. *Sur les mines de fer de Semur en Brionnais et Marcigny (Haute-Saône)*.

[6] 1843. FOURNET (Ann. des sc. phys. et nat. de la Soc. d'agric. de Lyon, t. 4). — GRÜNER (Ann. d. M., 4e série, t. 7). — ELIE DE BEAUMONT. *Explication de la carte géologique*, t. 2, p. 738. — 1868. LEDOUX. *Minerais de fer de l'Ardèche* (avec carte et coupes).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La couche du mur est formée d'un minerai noueux à structure oolithique prononcée, renfermant fréquemment des fragments de quartz roulés.

La couche supérieure, qui est la plus riche, forme une lentille, dont le centre a 7,10 m. d'épaisseur et dont l'allongement est Est-Ouest. Elle a 4 460 m. sur 1 700 m.. Le minerai, parfois feuilleté, passe aussi à des variétés siliceuses, dites *agatisées* (eisenkiesel des Allemands), qui finissent par n'être plus qu'un silicate de fer et que l'on peut rapprocher des jaspilites du Minnesota ou des agatisés de la Voulte.

Il existe de nombreuses failles, dont quelques-unes Nord-Est contiennent de la pyrite uniquement au contact du minerai [1].

Voici deux compositions de minerai :

	SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu	Fer
Agatisé	17,5	4,0	4,5	»	6,5	47,4
Feuilleté	12,30	6,3	4,7	»	7,32	47,5

Jusqu'en 1868, les mines de Privas, dont la principale est Veyras, avaient produit plus de 2 MT ; leur extraction moyenne était alors de 160 000 t. En 1888, les mines de l'Ardèche, Veyras, la Voulte, et le Lac, exploitées par les compagnies de Lhorme et de Terrenoire, produisaient environ 93 000 t. à 6 fr. 40. En 1908, le département de l'Ardèche est tombé au total à 31 000 t. valant 202 000 fr. ; en 1909, à 7 400 t.

A *Wasseralfringen*, en Wurttemberg, on exploite également deux couches d'hématite brune situées à la base du bajocien, dans la zone à Amm. Murchisonæ [2]. Ces couches, de 1m. 40 et 1 m. 70, produisent seulement 9 à 10 000 t.

En *Haute Silésie*, la zone bajocienne à Amm. Parkinsoni contient 4 à 5 couches minces, séparées par des bancs d'argile, qui tendent à se développer au delà de la frontière russe [3].

2° CALLOVIEN. — LA VOULTE, CHAMOSON, ETC.

La Voulte [4]. — Le gisement de la Voulte (Ardèche) est interstratifié dans le callovien et renferme des Ammonites Anceps, Athleta et Macrocephalus.

Il est formé d'une série de bancs ferrugineux, séparés par des intervalles variables de marnes schisteuses. L'ensemble de ces bancs constitue une demi-lentille, dont la plus grande épaisseur est aux affleurements et qui va en diminuant jusqu'à zéro dans la profondeur. La longueur du gisement, aujourd'hui épuisé, était, en direction, de 1 600 m. ; sa largeur de 240 m. Il a dû constituer primitivement une lentille complète, dont la moitié a été dénivelée par une faille et détruite par érosion.

On distingue 3 niveaux de minerai : banc du mur, banc moyen et banc

[1] Ce fait peut être rapproché des failles cobalifères dans le bassin cuivreux du Mansfeld.

[2] 1908. R. Fluhr. *Die Eisenerzlagerstätten Württembergs und ihre volkswirtschaftliche Bedeutung* (Z. f. pr. G., p. 1-23).

[3] 1870. F. Römer. *Geol. von Oberschlesien*, p. 210.

[4] Coll. Ecole des Mines, 1929.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

du toit. Les bancs du mur, formés de minerai rouge foncé à structure oolithique, ont 2 m. d'épaisseur maxima et se nomment la *couche oolithique*.

Au-dessus viennent de puissantes assises de minerai rouge, feuilleté, renfermant par places des lits de minerai agatisé. On les appelle *couche oxydée*. C'est, de beaucoup, la couche la plus puissante (7,50 m.) et la plus riche.

Enfin, les bancs du toit sont généralement composés d'un minerai brun jaunâtre, dit *minerai lithoïde* ou minerai café, beaucoup moins riche que les précédents et ne dépassant pas une épaisseur de 2,60 m.

La distinction entre ces trois couches est, d'ailleurs, loin d'être nette.

On peut remarquer que ce gisement, où nous retrouvons le type oolithique si fréquent dans les sédiments ferrugineux, est situé près des micaschistes et que, suivant une condition fréquente, il doit être considéré comme littoral ou tout au moins néritique.

Voici quelle était la composition des minerais :

TABLEAU 35. — ANALYSES DES MINERAIS DE LA VOULTE

CATÉGORIES DE MINERAIS		SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	PERTE au feu	OXYDE de fer	TOTAL	FER pur	OBSERVATIONS
La Voulte. . .	Ox. grillé .	18,00	9,00	2,30	»	2,10	68,40	99,80	47,9	Traces de soufre
» . . .	Ox. cru . .	13,45	5,70	1,60	»	5,70	72,30	98,75	50,6	
» . . .	Agatisé . .	9.18	5,91	1,18	»	3,34	80,94	100,55	56,6	
» . . .	Lith. grillé.	20.07	6,50	10,80	»	15,50	47,30	100,80	33,1	
» 1863	Lith. cru. .	22,01	9,10	8,80	»	13,30	47,00	103,30	32,9	Idem
» 1865	Id. . .	24,06	8,37	11,27	1,59	13,64	40,61	99,49	28,4	
» 1865	Id. . .	22,23	9,35	7,40	1.46	11,34	46,62	99,10	32,6	

Ardennes, Bourgogne, etc. — Du fer callovien a été également exploité dans les *Ardennes* (Poix, Montigny, etc.) et en *Bourgogne* (Ancy-le-Franc, Etivey, Chatillon-sur-Seine).

Chamoson (Suisse). — On doit, d'après C. Schmidt[1], considérer le gîte de Chamoson, qui a donné son nom à la chamosite, comme un facies local et anormal du callovien supérieur ou de l'oxfordien inférieur. Ce gisement lenticulaire est formé d'oolithes de chamosite, avec nombreux restes organiques. Son cube peut être de 480 000 t. ; mais sa position le rend inexploitable.

3° OXFORDIEN. — GARD, ALLEMAGNE, ETC.

Le Gard présente, à *Pierre-Morte* et à la *Coste-de-Comeiras*, de l'hématite rouge lenticulaire dans l'oxfordien, zone à Amm. Cordatus. C'est aussi le niveau du fer de *Neuvisy* (Ardennes), qui a fait appeler Neuvisyen la base de l'oxfordien, de celui de *Châtillon-sur-Seine* et *Villecompte*

[1] 1910. *Iron ore resources of the world*, p. 123 à 127, avec bibliogr.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

(Côte-d'Or) ; enfin de *Latrecey, Créancey* et *Bricon* (Haute-Marne), tous gisements inexploités.

En *Allemagne,* sur le flanc Nord du *Wesergebirge*, près Minden, l'oxfordien supérieur renferme aussi quelques minerais oolithiques [1]. On en a signalé également en Suisse, dans le *Gonzen,* près de Sargans [2].

VIII. — MINERAIS MARINS CRÉTACÉS ET TERTIAIRES

1° NÉOCOMIEN — BARRÉMIEN

La base du *néocomien* ou valanginien (32) renferme encore un calcaire à oolithes ferrugineuses, dit limonite de Métabief, exploité autrefois à *Métabief* (Doubs). Mais c'est un niveau d'eau douce que présentent, à la même époque, les dépôts à facies wealdien du *Bas-Boulonnais* et les grès à fer carbonaté peroxydé du *Pays de Bray*, étudiés plus loin.

Dans le barrémien, on a la couche rouge marine de *Wassy* [3] et les minerais milliolithiques de *Champagne*.

2° MINERAIS DE REMANIEMENT CRÉTACÉS. — SALZGITTER ET ILSEDE

Le flanc Nord du Harz présente des minerais de fer crétacés, doublement intéressants par leur constitution géologique spéciale et par leur valeur industrielle possible. Ce sont essentiellement des dépôts détritiques formés aux dépens de terrains ferrifères préexistants et leur formation représente donc, dans un cas particulier, la mise en œuvre du processus que nous imaginons beaucoup plus généralement pour la plupart des sédiments ferrifères : remise en mouvement du fer par l'érosion.

A *Salzgitter*, il semble que, pendant l'époque néocomienne, une formation marine littorale ait remanié des géodes ferrifères, englobées dans le jurassique et peut-être le trias. Il s'est constitué ainsi un conglomérat à ciment argileux ferrifère, ultérieurement recouvert par du néocrétacé, puis plissé à l'époque tertiaire, enfin localement mis à nu par l'érosion. Aussi bien dans les blocs que dans le ciment apparaissent des oolithes ferrifères. L'épaisseur de la couche atteint souvent 20 à 30 m., parfois 60 m.

La teneur en fer peut aller de 37 à 40 p. 100 ; mais le minerai a le défaut d'être très siliceux.

A *Ilsede*, des conditions analogues ont dû se produire pendant le sénonien inférieur, avec remaniement de noyaux ferrifères empruntés notamment au gault. Mais ici l'érosion a attaqué, en même temps, des calcaires, dont la dispersion dans le conglomérat prête à celui-ci une teneur en chaux de 15 à 17 p. 100 et le rend donc métallurgiquement supérieur, malgré la faible teneur en fer de 32 à 34 p. 100. On remarque, dans ce minerai, des intercalations fréquentes de phosphorite en noyaux et boules, qui en font un minerai pour fonte Thomas. Mais la teneur en man-

[1] 1903. Th. Wiese. *Die nutzb. Eisensteinlag. bei Minden* (Z. f. pr. G., p. 217-231).

[2] 1900. A. Heim. *Ueber das Eisenerz am Gonzen...* (Viertelj. Naturf. Ges. Zurich, t. 45, n° 11).

[3] Voir plus loin. p. 503.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ganèse est souvent élevée, jusqu'à 4 et 5 p. 100. En résumé, ce sont des minerais inférieurs, dont l'exploitation ne peut se faire que dans des conditions particulièrement économiques.

3° OCRES CÉNOMANIENNES DE BOURGOGNE

A la base du cénomanien (36), sous une ocre glauconieuse, on trouve, dans l'Yonne, à Pourrain, Parly, Diges et Sauilly, à Saint-Amand-en-Puisaye (Nièvre) et aux environs de Vierzon, à Saint-Georges-sur-Cher, un niveau d'argiles ferrugineuses exploitable pour ocres, qui semble correspondre à une altération ancienne de strates carbonatées. Les couches ocreuses de la Puisaye ont, d'après A. Lacroix[1], une épaisseur variant de 0 m. 50 à 2 m. Elles débutent à la base par de la limonite concrétionnée, avec géodes remplies de limonite pulvérulente. Au-dessus, vient une couche de quelques centimètres, constituée par des grains et des rognons de limonite réunis par un peu d'argile, et, plus haut encore, la véritable ocre fine d'un jaune foncé, que termine une ocre commune, jaune pâle, faisant pâte avec l'eau, mais moins liante que l'argile normale.

Les diverses ocres sont desséchées, broyées, puis lavées et soumises à des traitements variés. Par calcination à l'air, le produit est déshydraté et transformé en ocre rouge (hématite), dite minium de fer, et employée, comme le minium, de plomb pour la peinture sur fer. On produit encore des terres de Sienne, ou terres d'ombre, par calcination à l'air libre de sidérite lithoïde. Le tout donne lieu, pour Auxerre, à une production annuelle de 12 à 13 000 t.

4° ÉOCÈNE (BAVIÈRE)[2]

Comme nous l'avons remarqué dès le début, les minerais de fer marins sont très rares dans le crétacé et le tertiaire. Cependant il existe une longue zone de minerais nummulitiques allant de Dornbirn au Sud de Bregenz dans la vallée du Rhin jusqu'au Mattsee au Nord de Salzbourg en passant par Kressenberg et Sonthofen en Bavière, où on les exploite un peu. Là se trouvent trois couches de minerai oolithique (la principale épaisse de 2 m.), qui participent au redressement général des terrains encaissants. Le minerai, assez riche en fossiles, contient de la glauconie.

5° PLIOCÈNE MARIN. — GISEMENTS DE KERTCH ET TAMAN[3]

L'attention a été vivement attirée, vers 1897, sur des gisements de minerais de fer, depuis longtemps signalés à Kertch en Crimée, mais

[1] 1901. Lacroix. *Min. de la France*, t. 3, p. 389, — Cf. 1868. *Gisements de carbonate de fer dans le crétacé inf. de la Westphalie septentrionale* (Cuyper, t. 23, p. 451). — Col. Ec. d. M., 1382 (Pourrain), 1933 (Flogny), 2254 (Chatourupt, Haute-Marne, etc.). Voir, sur d'autres ocres, plus haut, t. 2, p. 405.

[2] 1861. Gümbel. *Geogn. Beschr. des Bayer. Alpengeb.* p. 647. — 1897. O.-M. Reis. *Zur Geol. der Eisenoolithe führenden Eocänsch. am Kressenberge in Bayern* (Geogn. Jahr. München, t. 10).

[3] 1834. Gouriep. (Journ. d. M. russe). — 1842. Le Play. *Voyage en Russie méridionale*, t. 4. — 1893. Androussof. *Mat. pour la géol. de la Russie*, t. 16; cf. 1897. *Guide du*

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

alors seulement reconnus susceptibles d'une utilisation en grand comme minerais à fonte Thomas. Ces minerais se présentent intercalés à la base de l'étage pontien (53) sous la forme d'argiles ferrugineuses avec lentilles d'une hématite brune généralement très phosphoreuse, mais, en même temps, manganésifère, concrétionnée en grains. On les a d'abord aperçus dans la falaise de Kamych Bouroun, où ils forment une large bande brune presque horizontale. Partant de là, on a constaté leur extension dans une vaste région et, notamment dans plusieurs bassins synclinaux, dits d'Assovina, et Baksu au N.E. de Kertch, de Kertch même et de Kamych Bouroum au Sud.

La coupe de la région, ramenée aux seuls termes importants pour notre sujet, comprend, de bas en haut : des couches pétrolifères du miocène moyen et du miocène supérieur (sarmatien, 52); puis 80 m. de calcaires miopliocènes, dits méotiques, à fossiles marins; environ 60 m. de pontien (53) concordant sur le sarmatien et commençant par des sables, faluns, grès et marnes, pour se terminer, à la partie supérieure, par les minerais de fer Au-dessous et au-dessus des couches ferrugineuses on a des accumulations de coquilles marines (cardium, etc.), sur lesquelles nous allons insister.

Tectoniquement, les travaux d'Androussof montrent qu'après le pontien cette région a été l'objet d'un plissement intense, contemporain de celui du Caucase et prolongeant celui-ci de Taman à Kertch.

Les calcaires sarmatiens et méotiques plissés forment des chaînes en hémicycle ou même en ellipses fermées, dans lesquelles sont les minerais pontiens, généralement recouverts seulement par du pléistocène. Ce minerai s'intercale entre le 3e et le 4e des quatre étages pontiens d'Androussof.

La coupe de détail donne, de haut en bas :

7. Minerais supérieurs sableux et assez siliceux.

6. Couche de Cardium reliés par une pâte argilo-ferrugineuse et contenant du minerai fortement manganésé, avec de la vivianite abondante (0,40 à 0,50 m.).

5. Couche de sable noir avec minerais de fer, tenant jusqu'à 15 p. 100 de manganèse et coquilles blanches (1 à 2 m.).

4. Couches alternantes, les unes dures, brun bleuâtre, les autres plus foncées, avec réseaux de veines noirâtres et vivianite (3 à 4 m.).

3. Couche de grains ferrugineux concrétionnés jaune clair, peu agglomérés, gros comme des noisettes et ressemblant aux minerais en grains du Berry (1 m.).

2. Argiles ferrugineuses assez sableuses (0,10 à 0,20 m.).

1. Couche de coquilles calcaires empâtées dans un ciment ferrugineux ; dite « poudrok » formant le mur des minerais (0,20 à 0,30 m.).

Dans cette coupe, un point attire spécialement l'attention, c'est, avant et après le dépôt du minerai, l'accumulation remarquable des coquilles marines accusant des conditions tout à fait littorales, un dépôt de plage.

Congrès de Russie, XXX. (Environs de Kertch). — 1896. Thasenster. *L'industrie charbonnière et sidérurgique de la Russie méridionale* (Rev. un. Mines, t. 45, p. 1-53, 172-230) et *ibid.* Monseu. *Le bassin houiller du Donetz*, 1897. — 1898. Macco. *Excursion nach dem Kaukasus und der Krim* (Z. f. pr. G., 205), — 1899. Bayard. *Sur les gis. de min. de fer des presqu'îles de Kertch et de Taman* (Ann. d. M., t. 15, p. 505-523).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Déjà, antérieurement, le sarmatien de cette région avait été marqué par des changements incessants de facies, accusant aussi une côte instable. Ce caractère s'accentue vers l'époque où se sont formés les minerais de fer. On peut donc imaginer ceux-ci précipités dans quelque estuaire, quelque baie du Mont Saint-Michel, où un apport spécial de sels ferrugineux a pu tenir à la destruction concomitante de la chaîne en train de se plisser. Ces sels de fer se seraient précipités là sous une épaisseur d'eau très faible. Ils ont pris l'allure en grains de 1 à 10 mm., qui se réalise si facilement dans toutes les concrétions ferrugineuses.

Théoriquement, ce gisement suscite encore quelques observations intéressantes. D'abord il est peu de cas où l'on saisisse mieux sur le vif l'origine des phosphates contenus dans les sédiments et, principalement, dans les minerais de fer. Il est ici évident que cette teneur en phosphore vient des coquillages, qui accompagnent le minerai en proportion tout à fait inusitée. Il en est résulté une telle richesse en vivianite que ce minéral a été autrefois décrit sous le nom de fer phosphaté de Kertch.

D'autre part, dans le cas de ces minerais relativement récents, on trouve séparés les uns des autres le minerai de fer et les lumachelles. Un stade d'altération et de remise en mouvement, qui ferait passer une partie du fer dans les lumachelles, reproduisait aisément certaines apparences, sur lesquelles l'attention a été attirée dans les minerais primaires de Clinton, de Bretagne, ou de Belgique.

L'autre remarque est la connexité, ou du moins l'analogie que l'on peut supposer entre ces minerais de fer et les minerais de manganèse qui, un peu plus tôt dans la série géologique, se sont déposés dans la même région en deux points, Tchiatoura et Iékaterinoslav, avec des caractères comparables, et une abondance exceptionnelle.

Pratiquement, les minerais de Kertch ont été reconnus dans un certain nombre de cuvettes, sur lesquelles les sociétés d'Ougrée, de Briansk, etc. ont organisé des exploitations, et pour lesquelles on a donné des évaluations de cubages considérables, montant à une centaine de millions de tonnes pour Kertch seul.

Cette couche de Kertch aurait 4 à 6 m. d'épaisseur sur 3 000 hectares. Ailleurs on atteint 6 m. et parfois 10 m. de minerai. Ces minerais ont, par contre, un certain nombre de défauts. Leur teneur est généralement faible, environ 35 p. 100 : ce qui exige un enrichissement par débourbage pour séparer les grains ferrugineux de la pâte argileuse. Ils sont, en outre, fragiles, sableux et assez fins : ce qui a pu donner l'idée de les agglomérer pour éviter le collage au haut fourneau. Ce sont ces défauts qui, avec la forte teneur en phosphore pouvant atteindre 2 p. 100, avaient fait échouer les premiers essais industriels de 1846. Actuellement, on peut en triompher[1] ; néanmoins il en résulte l'impossibilité d'exploiter de tels minerais autrement que dans des conditions très économiques, à ciel ouvert, et on ne peut y voir, comme on l'avait annoncé, le remplaçant des gisements riches de Krivoï-rog.

Le minerai moyen tient 30 à 40 de fer, 0,3 à 9 de manganèse, 0,6 à 1,5 de phosphore, 15 à 20 de silice et 2,5 à 5 d'alumine.

[1] La Société métallurgique de Kertch est, depuis plusieurs années, en déconfiture.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

IX. — DÉPOTS ACTUELS DE SILICATES DE FER DANS LA MER (GLAUCONIE)

L'érosion constante des continents par le ruissellement des eaux, qui, d'après un calcul de Murray, apportent à la mer chaque année 10,43 kil. cubes de matières solides, plus 5 km³ cubes de matières en dissolution, met en mouvement de grandes quantités de fer empruntées aux roches détruites, toutes plus ou moins ferrugineuses. Les fleuves renferment, en moyenne, par mètre cube 3,11 mgr. de peroxyde de fer, 3,42 mgr. d'alumine et 1,36 mgr. d'oxyde de manganèse. De ce fer, une partie se reprécipite sur le trajet de ces eaux en se peroxydant; mais une forte proportion arrive jusqu'à la mer. Il faut ajouter le travail de destruction des côtes par les vagues, travail évalué par de Lapparent à 1 km³ par an. par l'effet duquel il entre également du fer en dissolution. Enfin l'on peut encore mentionner l'hypothèse souvent émise des volcans sous-marins, qui semble confirmée par certaines observations océanographiques. Il est donc tout naturel que l'eau de la mer renferme normalement une certaine teneur en fer sous forme de carbonate, de sulfate ou de chlorure et que ce fer, dans des conditions favorables, se précipite. C'est ce que l'on constate en effet, et le fer, comme le manganèse, sont, en petites quantités, des éléments très ordinaires dans les dépôts marins.

Parmi les silicates de fer complexes que l'on trouve dans les sédiments marins et auxquels on peut songer pour expliquer la précipitation sédimentaire du fer dans les terrains géologiques, nous avons précédemment étudié la glauconie [1], où intervient d'ordinaire une proportion assez sensible de potasse (5 à 8 p. 100) [2]. Dans les explorations sous-marines, on a vu de la glauconie se former le long des continents, au delà de la zone littorale proprement dite où se fait sentir l'action des marées et des courants fluviaux. Cette glauconie, associée avec des vases et sables verts, se dépose ainsi à une profondeur qui n'est guère moindre de 200 m. et qui ne dépasse pas 1 800 m.

Il semble qu'elle soit due à une action de l'eau de mer sur les sédiments terrigènes, tels que les argiles et les silicates des roches. Quand on se rapproche de la côte, ces silicates eux-mêmes subsistent en plus forte proportion, ayant pu néanmoins subir un commencement d'attaque qui y a peroxydé davantage le fer, et qui a pu avoir une tendance à y développer la structure oolithique, absente dans la glauconie. Quand, au contraire, on s'éloigne au large, la décomposition des mêmes silicates, opérée dans d'autres conditions, amène la formation de nodules manganésifères avec oxydes de fer et celle d'une argile rouge des grands fonds (vers 4 000 m.), remarquable par sa forte teneur en silice, trois fois plus grande que dans l'argile normale.

Ces nodules manganésifères, qui semblent très caractéristiques des argiles rouges de mer profonde, peuvent atteindre 4 à 5 cm. de dia-

[1] Tome 2, page 289.

[2] On ne voit nulle part se former rien d'analogue aux bavalites, chamosites, etc. : ce qui contribue à leur faire attribuer une origine secondaire.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mètre. La plupart sont formés de wad et contiennent 24 à 33 p. 100 de peroxyde hydraté de manganèse, 18 à 25 de sesquioxyde de fer, avec de la silice, un peu de chaux, de manganèse, de cobalt, (concentré là, suivant un phénomène constant, avec le manganèse) et d'acide phosphorique. Ces concrétions entourent généralement des débris.

Autour des îles volcaniques, le manganèse est fréquent, surtout quand il se rencontre des débris de laves pyroxéniques.

Dans les lacs d'Ecosse, il se forme de même des nodules manganésifères moins oxygénés.

P. — SÉDIMENTS FERRUGINEUX LACUSTRES

Après le grand développement de minerais de fer marins, qui a marqué, dans l'Europe occidentale, le début du jurassique et qui s'est continué en s'atténuant pendant cette période géologique, il est à remarquer que, pris dans leur ensemble, les minerais de fer crétacés français, d'ailleurs sans importance, sont lacustres et que les minerais formés depuis la fin du crétacé sont pour, la plupart, continentaux. Il est difficile de ne pas voir là un fait d'évolution générale tenant aux conditions dans lesquelles l'Europe occidentale s'est trouvée depuis la fin du jurassique par rapport aux derniers plissements. Minerais lacustres et minerais continentaux peuvent, d'ailleurs, passer les uns aux autres par des transitions, au milieu desquelles il est difficile d'établir une coupure.

Mais, comme nous le répéterons à l'occasion des minerais continentaux, si les exemples récents de minerais de fer lacustres sont plus abondants que les exemples primaires, pour la même raison générale d'érosion qui a fait disparaître plus généralement les dépôts lacustres quelconques un peu anciens, on ne peut pas moins citer des exemples de ces derniers, et nous classerons dans ce groupe tous les carbonates de fer associés aux terrains houillers stéphaniens du Plateau Central. Il serait même probablement permis de rattacher au même mode de formation bien d'autres dépôts ferrugineux reliés aux couches de houille régulières d'autres régions, Angleterre, Westphalie, etc., pour lesquels, sans doute, quelques phénomènes marins sont intervenus, mais dans des conditions bien intimement reliées à celles des continents et de leurs lacs. Néanmoins, pour leur laisser leur place dans la série chronologique des formations marines, nous les avons décrits précédemment.

1° SIDÉRITES DES LACS CARBONIFÈRES

Les divers bassins houillers lacustre de l'Allier, de la Nièvre, de Saône-et-Loire renferment des nodules de sidérite lithoïde analogues à ceux qui existent dans les bassins de la Loire et du Nord, où les sédiments ont été soumis à une influence marine. Ceux de *Fins* (Allier) présentent parfois un centre en phosphorite terreuse et une croûte extérieure en pyrite compacte.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

2° MINERAIS NOÉCOMIENS LACUSTRES DU PAYS DE BRAY

La base du néocomien, ou valanginien (32), renferme comme nous l'avons vu[1], un calcaire marin à oolithes ferrugineuses, dit limonite de Métabief, exploité autrefois à Métabief (Doubs). Mais c'est un niveau d'eau douce que présentent, à peu près à la même époque, les dépôts à facies wealdien du Bas-Boulonnais et du Pays de Bray. D'après une étude de de Mercey, ce niveau, que l'on avait d'abord assimilé à tort avec celui de Wassy, situé plus haut dans la série stratigraphique, occupe, dans tout le Bray, une grande étendue. Superficiellement, il a produit des minerais hydroxydés avec sables ferrugineux ayant autrefois donné lieu à des minières abandonnées[2].

Mais il a été facile de constater par des sondages que, dans ce cas comme dans beaucoup d'autres, l'origine du peroxyde était un fer carbonaté argileux, ou sphérosidérite à structure oolithique, tenant en moyenne 30 à 40 p. 100.

Ces minerais forment des lentilles, dont l'épaisseur totale est souvent voisine de 1 m. La pyrite de fer, qui n'a pas dû jouer de rôle dans leur formation, n'y existe qu'à l'état isolé. Ces couches ont, sur tout le versant S.-W. du Bray, une pente d'au moins 5 p. 100.

3° MINERAIS BARRÉMIENS DE WASSY[3] ET DE MENNETOU — APTIEN

Le barrémien (33) renferme du minerai de fer lacustre dans la Haute-Marne, autour de *Wassy*[4].

L'étage barrémien est représenté, dans la Haute-Marne, par la série suivante :

6. *Couche rouge de Wassy* (0,50 m. au plus).
5. *Minerai de fer oolithique* (0,60 m. à 1,40 m.).
4. Grès et sables ferrugineux : 1 m.
3. Argile rose marbrée (1,60 à 3 m.).
2. Grès et sables piquetés, versicolores (3 à 4 m.).
1. Argile ostréenne (14 à 15 m.).

[1] Tome 2, page 497.

[2] 1873. Pellat. *Fossiles d'eau douce dans les minerais de fer wealdiens du Bas-Boulonnais* (B. S. G,, 3e, t. III, p. 642). — 1880. Van den Broeck. *Quelques mots sur l'origine du minerai de fer du Boulonnais* (In-8°, 7 pages) (B. S. G. F., 3e série, t. VIII). — 1898. N. De Mercey. *Sur l'origine du minerai de fer hydroxydé du néocomien moyen du pays en Bray* (C. R., t. 127, p. 1345, 26 déc.).

[3] Il ne faut pas confondre Wassy (Haute-Marne), où se trouvent les minerais de fer barrémiens, avec Vassy, près Avallon, dont nous avons signalé les calcaires à ciment toarciens. Voir précédemment t. 2, p. 498, sur les minerais marins du même point.

[4] Coll. École des Mines, 1930. — 1799. *Minière de Poissons* (Haute-Marne) (Journ. des mines, an VI, t. 8, p. 521). — Cornuel. *Minerai de Poissons* (Haute-Marne) (Mém. Soc. géol., 1re, t. 4, p. 273). — 1856. Meugy. *Sur le synchronisme entre les minerais de fer géod. de la Haute Marne et du Nord* (B. S. G. F., 2e, t. 13, p. 879). — 1860. Chancourtois. *Sur la distribution du minerai de fer dans le département de la Haute Marne* (C. R., 10 sept.). — 1873. Cornuel. *Cônes de pins fossiles du fer oolithique de Wassy* (B. S. G. F., 2e, t. 22, p. 658,et 3e, t. 1, p. 326). — 1874. Cornuel. *Description des fossiles d'eau douce du fer néocomien de la Haute-Marne* (B. S. G. F., 3e, t. 3, p. 371). — 1878. Rigaud. *Minières de la Haute-Marne* (Ann. d. M., t. 14, 4e liv.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le minerai hydroxydé (couche 5), en oolithes réunies par un ciment argilosiliceux, forme une nappe régulière aux alentours de Wassy et de Bailly-aux-Forges. Les coquilles qu'on y rencontre sont d'eau douce.

Au contraire, au-dessus, la couche rouge de Wassy (couche 6) est une argile durcie d'origine marine, dont les fossiles indiquent la partie supérieure du barrémien (urgonien).

En outre, il existe, encore plus haut, à la base des argiles aptiennes (34), des minerais en grains très fins, dits milliolithiques, que l'on appelle aussi minerais de Wassy.

Enfin, on trouve dans la même région, à la surface, et particulièrement dans des anfractuosités des calcaires portlandiens, notamment à *Poissons*, des minerais de fer géodiques, qui paraissent, d'après les fossiles qu'on y a trouvés, résulter de la destruction, à l'époque pléistocène, des minerais néocomiens et représenter, par conséquent, un premier type de ces faciès continentaux que nous étudierons bientôt en détail.

En 1899, on a exploité avec quelque activité les minerais de *Mennetou*, dans le Nord du Berry, qui appartiennent au niveau de Wassy et on en a tiré, cette année-là, 30 000 t. Ces minerais constituent une bande presque continue de l'Ouest à l'Est depuis Massay jusqu'à Sancerre. Ils sont phosphoreux, mais faciles à fondre (mines chaudes), et s'associent avec des argiles blanches, autrefois utilisées par les porcelainiers.

L'*aptien* (34) nous fournit encore quelques amas d'hématites brunes résultant d'un ravinement précrétacé : par exemple au *Bois-des-Loges*, près de Grandpré (Ardennes), et à *Blangy*, dans l'Aisne.

4° FER DES LACS ET DES MARAIS [1]

Les fers des lacs et des marais représentent la forme actuelle d'un phénomène que nous venons de suivre à travers la série géologique et leur étude permet de préciser très exactement, dans le cas des minerais lacustres, des conditions de dépôt qui, pour les formations marines ferrugineuses, restent, nous l'avons vu, beaucoup plus obscures.

Ces minerais se déposent surtout de nos jours dans un certain nombre de pays, tels que la basse Lusace, la Silésie, la Pologne, le Banat, le Jutland, la Finlande, les bords du Donetz et les lacs de Scandinavie, particulièrement dans les provinces suédoises de Småland, Westergœtland,

[1] 1836. *De l'industrie minière en Finlande* (Ann. des mines de Russie). — 1846. Daubrée. *Sur la formation du minerai de fer des marais* (Ann. d. M., 4e, t. 10, p. 37, et B. S. G. F., 2e, t. 3, p. 145). — 1896. Van Bemmelen. *Sur la formation de sidérose et de vivianite dans le S. E. de Drenthe* (en hollandais, C. R. dans Z. f.pr. G., p. 215). — 1896. R. Klebs. *Das Sumpferz* (Raseneisenstein). Königsberg, 19 p. — 1897. Jegunow. *Pyrite et limonite dans les dépôts des limans et de la Mer Noire* (St.-Péters. Ann. géol. et min., 24 p. (en russe et allem.). — 1898. Gaertner. *Ueber Vivianit und Eisenspath in Mecklemburgischen Mooren* (Arch. d. Ver. Naturges. in Mecklem.). — 1898. *Raseneisenstein als Baumaterial* (Z. f. pr. G., p. 34). — 1899. V. Bemmelen. *Das Vorkommen, die Zusammensetz. und Bild. der Eisenhauf. unter den Mooren* (Z. f. anorg. Ch. t. 32, p. 315; cf. *ibid.* V. Bemmelen. 1900, p. 313-379 et Arch. Sc. néerl., t. 4, p.19). — 1901. Lacroix. *Min. de la France*, t. 3, p. 397.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dalarne, Herjeadalen, Jemtland et Norrland. Mais il en existe des équivalents restreints dans beaucoup de pays bas et marécageux, comme les Landes, le Bugey, la Sologne, etc.

Les minerais lacustres reposent généralement sur un fond sableux à proximité du rivage, sous une nappe d'eau peu épaisse, qui ne dépasse guère 1 m. d'épaisseur et qui se réduit parfois à quelques centimètres. Les amas stratifiés qu'ils forment ont rarement 0,50 m. de puissance; mais ils peuvent être exploités dès qu'ils atteignent 0 m. 10 à 0 m. 15 d'épaisseur. L'observation indique, paraît-il, que ces couches se renouvellent dans une période de trente ans environ. Ils se dépose, au commencement, une boue ocreuse grise, noire, brune ou verdâtre, renfermant beaucoup de silice gélatineuse. En durcissant, ces ocres se concrétionnent souvent en petites boules ou en lentilles aplaties, rappelant les pisolithes des fers en grains. Ces minerais contiennent toujours une certaine quantité de phosphore provenant de plantes, en particulier des algues. Il est facile de comprendre que le fer des terrains superficiels commence par se réduire, se dissoudre sous l'influence de certains produits de la pourriture des végétaux, en particulier de l'acide crénique (Berzelius), puis est entraîné par les eaux vers le marais.

Là, les sels de protoxyde peuvent être décomposés, comme l'a montré Winogradsky, par des *ferrobactéries* en cellules cylindriques, associées à des filaments qui ont besoin pour vivre d'absorber dans leur protoplasma des sels ferreux. Ceux-ci s'y oxydent et se transforment en sels ferriques que sécrètent leurs cellules. Le peroxyde de fer imprègne alors leurs membranes et leur gaine gélatineuse.

Indépendamment de ces ferrobactéries, dont le rôle est, on le voit, analogue à celui des sulfobactéries, il peut encore se produire une rouille ocreuse par simple oxydation à l'air. Peu à peu, cette ocre, qui englobe des fragments organiques, se concrétionne en limonite, souvent avec un peu de vivianite.

Enfin, dans les tourbières, des eaux ascendantes, amenées par des sables aquifères, peuvent venir déposer, au milieu de la tourbe, du carbonate de fer amorphe, bientôt transformé en limonite, avec de la vivianite.

L'*alios* des Landes, ou sable quartzeux agglutiné par de la limonite et des matières organiques, se produit à une faible profondeur dans divers terrains sableux par l'évaporation estivale de nappes souterraines ayant puisé du fer dans les terrains traversés.

Cette dernière formation peut déjà être rattachée aux cas de concentrations continentales qui vont être bientôt étudiés. Les fers des marais nous renseignent, au contraire, sur les conditions dans lesquelles ont pu se précipiter les quelques minerais ferrugineux d'origine lacustre, assez rares d'ailleurs, que nous venons de signaler dans le crétacé.

Q. — MINERAIS DE FER DE CONCENTRATION CONTINENTALE

A toutes les époques de l'histoire géologique, il a pu, sur des continents émergés, se produire, par remise en mouvement et concentration superficielle des sels de fer que tous les terrains renferment, comme

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nous l'avons dit en commençant, et à plus forte raison par action sur des roches ferrugineuses, ou minerais déjà formés, des gisements de fer, dont, sur une échelle restreinte, nous voyons constamment des exemples se renouveler sous nos yeux (limons, ocres des ruisseaux, etc.). Généralement ces dépôts, comme ceux de manganèse qui se produisent dans les mêmes conditions, n'ont eu qu'une importance restreinte. Mais il a pu se constituer des gisements assez abondants pour devenir utilisables, toutes les fois que le terrain soumis à l'altération continentale était, ou particulièrement riche en fer, ou très soluble.

Les meilleurs spécimens du premier groupe de gisements nous sont donnés par tout un groupe de minerais, sur lesquels nous ne reviendrons pas parce qu'en raison de leur origine première filonienne, nous avons cru devoir les étudier précédemment, mais dont, pour être absolument correct, la place aurait dû être ici : ce sont les remaniements sur place de gisements filoniens, où le fer existe en profondeur à l'état de sulfure, et, généralement, avec association d'autres sulfures métalliques ; ce sont, en un mot, les chapeaux de filons et les amas de substitution, parmi lesquels il convient, à notre avis, de ranger beaucoup de gisements très considérables, auxquels, en raison de leur développement même et de l'extension prise par les altérations, on a souvent attribué une autre origine. Qu'il s'agisse des oxydes de fer de l'Ouenza, du Boukadra, de la Tafna, ou même des hématites produites aux dépens des gisements encaissés dans les calcaires (types Pyrénées, Styrie, Bilbao, etc.), l'origine du minerai actuellement visible, tel qu'il est exploité, est une alteration continentale à faire rentrer dans le groupe général de ces phénomènes continentaux, sur lesquels nous avons si souvent attiré l'attention au cours de cet ouvrage.

On pourrait également décrire ici tous les gisements oxydés superficiels qui se sont formés avec déplacement restreint sur un premier gisement de fer moins riche, par son remaniement, sa remise en mouvement. Ici encore, bien des formes de minerais industriels examinés précédemment sont dues à une action de surface souvent très récente. Aussi bien sur les affleurements des minerais silésiens que dans la région des amas pyriteux du Nord de l'Espagne, un faible déplacement a produit des oxydes de fer susceptibles d'être exploités.

Laissant de côté ces catégories de gisements déjà étudiées, qui ont eu pour point de départ un gisement antérieur, nous nous bornerons à examiner ici les cas où des gisements de fer se sont produits par altération continentale sur des roches ou terrains ne pouvant pas par eux-mêmes être considérés comme des minerais de fer. Il est facile de comprendre que ce cas ait été souvent réalisé. Nous avons vu, en effet, en commençant qu'un terrain quelconque tient, en moyenne, plus de 4,5 p. 100 de fer. Il suffirait donc que cette teneur ait été décuplée par l'altération et, par exemple, que le fer, emprunté à 10 m. d'un terrain dissous, ait été concentré dans 1 m. d'épaisseur, pour qu'il se soit constitué un minerai de fer utilisable. Nous allons surtout insister sur la manière dont ce fait se produit pour des calcaires. Mais il a également été réalisé plus rarement et sur une échelle bien moindre pour certaines roches basiques, dont la décomposition a donné lieu à des fissures incrus-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tées d'hématite ou de limonite, examinées plus haut incidemment à l'occasion des gîtes filoniens (type Zorge), et nous pourrons également, à ce propos, revenir sur la latéritisation.

Les dépôts irréguliers, mais parfois considérables, que nous allons décrire, se sont formés dans des conditions que nous essayerons d'élucider, sur certains plateaux émergés. et, de préférence, sur des plateaux calcaires, dans les crevasses et poches superficielles diverses de ces plateaux. Ils doivent être considérés comme un cas très particulier (probablement un peu plus profond) des argiles rouges de décalcification. Le phénomène a pris, à certaines époques de l'histoire géologique, un tel développement que l'on avait été amené autrefois, alors que l'on expliquait tous ces gisements par des venues profondes filoniennes, à envisager, pour la période où ils ont eu en France leur activité maxima, une certaine phase, dite *sidérolithique*. Pour nous, aujourd'hui, il n'y a plus rien d'interne à proprement parler, dans le phénomène, et le fer ainsi accumulé est uniquement le résultat d'une concentration ferrugineuse superficielle opérée, en présence d'acide carbonique en excès, dans une phase d'émersion continentale, probablement très prolongée, aux dépens de terrains aujourd'hui disparus à l'exception de ce résidu ferrugineux. Il faut seulement se rendre compte comment la dissolution de ces terrains superficiels, parmi lesquels les calcaires ont dû prédominer, a pu finalement constituer des accumulations de minerais parfois considérables, et c'est ce que nous allons faire bientôt en examinant avec quelques détails la manifestation la plus typique de ces gisements en France : celle qui a constitué les minerais en grains du Berry,

Nous venons de faire allusion à la période, dite sidérolithique, que l'on plaçait autrefois à la fin de l'éocène. C'est, en effet, pour la France, à la fin du crétacé et au début du tertiaire que se localisent surtout ces dépôts continentaux, dont l âge peut souvent être daté par la comparaison du terrain dans les fissures duquel ils s'encaissent et auquel ils sont par suite postérieurs, et du terrain superposé qui est souvent oligocène. Il s'est donc produit, dans cette période, quelque chose de spécial, dont nous n'avons aujourd'hui que l'équivalent imparfait, puisque nos poches de décalcification naturelle et nos limons actuels renferment bien des argiles très ferrugineuses ou des grains de pyrolusite, mais pour ainsi dire jamais de véritables minerais de fer. Cette remarque devient particulièrement nécessaire si l'on envisage le développement énorme que semblent susceptibles de prendre de telles formations d'après les découvertes récentes du Jura franconien, portant sur des remaniements continentaux plus anciens.

On peut également se demander pourquoi des gisements presque contemporains et auxquels nous attribuons une origine analogue se trouvent : l'un, dans le Berry, contenant uniquement du fer ; l'autre, dans le Quercy, seulement du phosphore. Faut-il admettre que les éléments avaient déjà subi, sur le même point, une première concentration sédimentaire et qu'il existait, par exemple, déjà, dans le Berry ou en Franconie, de premières couches de fer? Cela ne semble pas nécessaire. Si l'on envisage la teneur en fer moyenne d'un calcaire normal, Van den Broek a fait observer que 70 à 80 m. de calcaire dissous pouvaient suffire pour constituer un

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gisement de fer analogue à ceux du Berry. C'est un chiffre très faible et la dissolution d'une épaisseur semblable a dû souvent se réaliser.

1° MINERAIS DE FER CONTINENTAUX DU SINIEN CHINOIS

Il est théoriquement intéressant de montrer que les formations continentales ferrugineuses, dont nous allons rencontrer les plus beaux types au début du tertiaire, ne sont nullement spéciales à cette période, mais ont pu se produire antérieurement sur tous les plateaux calcaires émergés, bien que leurs manifestations primaires aient été généralement détruites par l'érosion. Nous signalerons, à ce titre, les gisements étudiés par Bailey Willis, dans le Nord-Est de la Chine (Chansi, Chantoung, Honan)[1]. Il existe, dans cette région, entre le sinien (ordovicien supérieur) et le Carbonifère supérieur, une lacune correspondant à une période d'émersion sans plissements, pendant laquelle se sont produits les effets ordinaires des altérations superficielles plus récentes. C'est ainsi que le calcaire sinien apparaît, sous un recouvrement de grès carbonifère, caverneux, fissuré, rempli de poches à argile rouge et que l'on y obtient des minerais en grains en proportion suffisante pour être exploités.

2° JURA FRANCONIEN (Bavière)[2]

Nous croyons devoir classer parmi les formations continentales d'âge probablement infracrétacé, bien qu'on leur ait souvent donné une interprétation différente, les gisements très importants et récemment explorés du Jura Franconien, qui, d'après divers géologues allemands, seraient le produit d'une substitution filonienne.

Quand on regarde une carte géologique de Bavière, on voit, immédiatement à l'Ouest des terrains cristallins qui constituent le massif hercynien de Bohème, commencer, le long d'une faille N.W.-S.E., une zone jurassique en forme d'ellipse N.N.W.-S.S.E. pouvant avoir une centaine de kilomètres de long sur 30 km. de large : ellipse, autour de laquelle reparaît, dans les vallées du Main et de la Regnitz, son soubassement triasique. C'est l'extrémité Nord du Jura franconien, limitée ici par les villes d'Amberg, Baireuth, Bamberg et Nuremberg, qui, plus au Sud, se coude dans le sens N.E.-S.W. le long d'une faille suivie par le Danube, vers les carrières classiques de Solenhofen[3] et le Ries de Nördlingen et, sous le nom de Rauhe Alb, se prolonge par Ulm jusqu'à Schaffhausen et jusqu'au Jura septentrional.

On a là, entre 400 et 600 m. d'altitude, un grand plateau ondulé de calcaires et dolomies jurassiques que limitent souvent des parois

[1] 1907. *Research in China*, t. I, p. 48 et 147 ; t. 2, p. 67, 68.

[2] Carte géol. de Bavière. Feuilles d'Erbendorf et de Bamberg.—V. Gümbel. *Der Frankenjura.* — 1893. V. Gümbel. *Die Amberger Eisenf.* (Sitzb. Ak. d. W. Munchen. t. 13, p. 293-320). — Suess. t. 1, p. 258). — 1902. Kohler. *Die Amberger Erzlagerst.* (Geogn. Jahreshefte, Munchen p. 1 50 avec bibl.). — 1907. W. Kohne (Z. d. D. géol. Ges., p. 84). — 1908. Klockmann (Stahl u. Eisen. p. 1913). — 1910. E. Holzapfel. *Die Eisenerzvork. in der Frankischen Alb.* (Gluckauf, 12 mars, p. 314 à 350). — 1910. L. De Launay. (La Nature, n° 1945, 5 nov.).

[3] Voir tome 2, page 173.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

escarpées. Ce plateau est, en grande partie, recouvert par des dépôts crétacés et tertiaires, qui en égalisent généralement la surface, sauf dans les vallées sèches, ou la dolomie reparaît. Si on pouvait enlever ce manteau et reconstituer, par conséquent, l'état de choses qui existait au début du crétacé supérieur, on verrait une sorte de Karst ou de Montpellier le Vieux, extrêmement accidenté, aux profils ruiniformes, qui, aussi bien par cet aspect caractéristique que par la transformation habituelle des calcaires en dolomie, accuserait de la façon la plus nette le métamorphisme continental dû à une très longue période d'émersion. C'est dans les cavités irrégulières de cette superficie bizarre que se présente un minerai de fer, dont l'allure d'ensemble rappelle par conséquent, trait pour trait, aussi bien les minerais de fer du Berry que les minerais de fer et de manganèse de la Lahn ou les phosphorites du Quercy.

La coupe d'un de ces gisements, montre d'ordinaire le dépôt ferrugineux reposant presque directement sur la dolomie, dont le sépare un mince délit argileux, dit Spiegel Letten. Il est formé d'hématite pulvérulente, avec gros fragments creux à écailles concentriques, renfermant parfois des croûtes de goethite. En même temps se présentent des morceaux d'hématite compacte, allant de la grosseur d'un pois à celle d'une noix, qui, d'après les descriptions, n'auraient pas la structure concentrique des minerais en grains, mais seraient à bords anguleux. C'est, en moyenne, un minerai à 38-40 de fer, sensiblement phosphoreux (0,5 à 0,8 p. 100 de phosphore), mais exempt de soufre, très fortement siliceux (22 p. 100 en moyenne), avec 7 à 11 p. 100 d'alumine et, en moyenne, 0,5 de manganèse, dont la teneur n'est pas sans analogie avec celle des minerais du Berry ($58Fe^2O^2$; $12Al^2O^3$; $10SiO^2$; 0,20P).

Par-dessus cette limonite viennent, en se mélangeant d'abord avec elle, des sables quartzeux à teintes vives, souvent verts ou jaunes, tantôt fins, tantôt grossiers, parfois aussi soudés en un grès, dont le mélange contribue à la forte teneur en silice du minerai. Ces sables ont été considérés par certains auteurs (Klockmann, etc.) comme tertiaires et leur aspect est conforme à cette idée. Mais des observations plus précises semblent montrer que leur base tout au moins se rattache à du cénomanien authentique, étudié par Kolher et bien déterminé vers Amberg.

En ce qui concerne l'extension du gisement, il faut d'abord remarquer que la forme même d'un tel dépôt exclut toute possibilité d'un cubage précis. Cependant le nombre des sondages, déjà très grand, permet de faire une moyenne approximative. La seule compagnie Wittelsbach, qui a pris depuis 1908 l'initiative d'une grande campagne de recherches et qui possède la majeure partie des concessions, a foré 380 sondages. Généralement ceux-ci ont été placés de manière à avoir chance de rencontrer le minerai à une profondeur minima : par conséquent, sur les bords des sortes de cuvettes formées par la dolomie, ou près des points où le minerai apparaissait déjà au jour, ou encore au voisinage des très nombreuses fouilles que des mineurs anciens, peut-être préhistoriques, avaient déjà creusées, probablement pour aller chercher des minerais facilement fusibles. Quelquefois on n'a pas rencontré du tout de minerai. Le seul examen de la surface montre, d'ailleurs, que, là ou la dolomie se rapproche du jour, le minerai manque ordinairement au-dessus. Il a été enlevé par

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'érosion ou ne s'est jamais déposé. Dans ces conditions, nous citons uniquement pour montrer comment les calculs ont été faits, l'épaisseur moyenne de 1 m. qui, avec 750 km². de superficie appartenant à la Compagnie Wittelsbach, a conduit à 1 500 MT.

Industriellement, il faut encore remarquer que, si l'exploitation paraît devoir être facile (en partie à ciel ouvert), le minerai est d'une qualité très inférieure, si l'on n'arrive pas à l'épurer en silice par triage.

L'origine géologique de ce gisement a donné lieu à beaucoup d'hypothèses. Certains auteurs ont repris, à ce propos, l'idée des failles nourricières, et d'une métallisation par apports hydrothermaux internes, qui était autrefois très généralement admise pour les minerais du type Berry et qui, même pour les minerais de Lorraine, a été encore, nous l'avons dit, soutenue récemment. D'après Kohler, Holzappel et Beck, la formation ferrugineuse serait arrivée de la profondeur postérieurement aux sables, en partie au moins tertiaires, qui la recouvrent aujourd'hui et ses enrichissements seraient en rapport avec les zones de dislocations. Il y aurait lien avec les manifestations volcaniques, telles que les basaltes, et cette action interne aurait transformé le calcaire en dolomie au voisinage des minerais. Pour nous, cette dolomitisation, que nous considérons, en effet, comme liée, dans bien des cas, à des formations métallifères très diverses, est un phénomène d'altération continentale connexe de la transformation ou de la concentration opérée sur les minerais eux-mêmes[1]. Il est assurément difficile de dire aujourd'hui quelle est l'origine précise de ces minerais remaniés. Est-ce simplement un résidu de l'attaque des calcaires jurassiques, suivant l'idée de Klockmann? On a objecté, non sans raison, que la dolomie intacte tient à peine 0,08 à 0,10 de fer et les calcaires voisins à peu près autant, en sorte que, pour obtenir 1 m. d'épaisseur de minerai, il aurait fallu dissoudre 400 m. de calcaires. Il est donc plus vraisemblable que des terrains supérieurs, enlevés par l'altération même, sont intervenus et peut être y a-t-il eu remaniement d'un premier gisement sédimentaire ferrugineux superposé au jurassique subsistant. On doit admettre, en toute hypothèse, que le minerai primitif a dû subir des transformations par métasomatose.

Contre la limite Est de la formation jurassique, qui est bornée par une grande faille N.W.-S E., les couches jurassiques sont parfois très redressées et disloquées. Les minerais prennent alors une allure un peu différente, formant des amas redressés comme les couches elles-mêmes, mais toujours recouverts en discordance par le crétacé. Il y a eu là une ancienne exploitation à Amberg et une plus récente à la mine Leoni près Auerbach, où le minerai se trouve coincé le long d'une fente de dislocation. La teneur en fer atteint, en ce point, 46 à 50 p. 100. Pour ces minerais en particulier, l'idée d'une substitution hydrothermale d'origine filonienne, récemment soutenue par Kohler, a été également admise par Beck [1].

[1] Voir, au chapitre du magnésium, tome 2, p. 217.

[2] *Loc. cit.*, t. 2, p. 232.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

3° MINERAIS EN GRAINS DU BERRY [1]

Il existe, dans un cercle d'environ 80 k. de diamètre autour de Bourges, de nombreux gisements de fer consistant en poches irrégulières creusées dans les calcaires, au voisinage de la surface, et remplies d'un argile rouge à grains de fer hydroxydé. Ces calcaires d'âge jurassique (Astartien 29, à Lunery) et leurs poches à minerais ont été recouverts d'un calcaire lacustre sannoisien (46). La production des minerais de fer est donc d'âge intermédiaire. Ces gisements sans profondeur et sans continuité n'ont jamais pu donner lieu à une exploitation concentrée et durable,

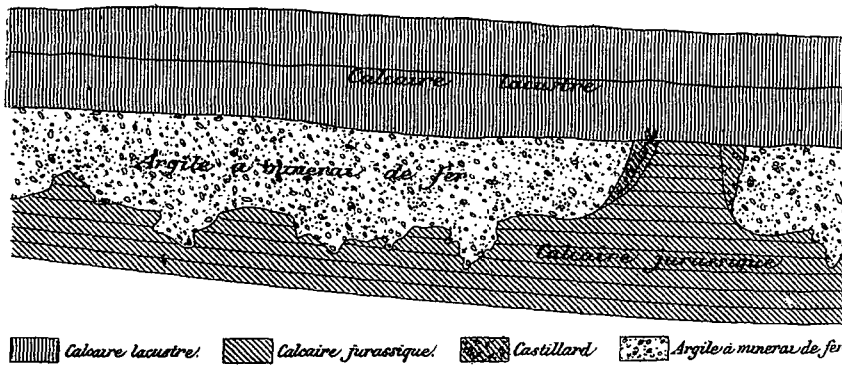


Fig. 259. — Coupe d'une nappe d'argile dite sidérolithique à Dun-le-Roi (d'après de Grossouvre).

bien que l'on ait fait un moment une tentative assez importante aux environs de la Chapelle-Saint-Ursin. Prospères vers 1848, fermées en 1886, un peu reprises depuis 1890, les exploitations ont toujours consisté en

[1] Gisement visité en 1900. — Coll. Ecole des Mines, 1931. — Feuilles au 1/80 000e, de Bourges, Issoudun et Montluçon. — 1828. Brongniart. *Sur les brèches osseuses et les minerais de fer pisiformes* (Ann. sc. nat., t. 15, p. 531). — 1831. Malinvaud. *Minerais du Cher* (An. d. M., 3e, t. 4, p. 47). — 1858. Beau. *Minières de l'Aubois* (B. S. G. F, 2e, t. 15, p. 677). — 1871. Jannetaz. *Sur les minerais de fer pisolithiques des environs de Paris* (B. S. G.F, 2e, t. 28, p. 197). — 1880-81. De Grossouvre. *Sur le métamorphisme des calcaires jurassiques au voisinage des gisements sidérolithiques* (B. S.G.F, 3e série, t. 9, p. 277). — 1881. Van den Broeck. *Mémoires sur les phénomènes d'altération de dépôts superficiels* (Bruxelles). — 1881. Philips. *On the occurrence of remains of recent Plants in brown iron ore* (Quart. journ. of the geol. Soc., t. 37, p. 1. Londres). — 1882. Mallet. *On the iron ores... on lateritican manganese ore* (Geol. survey of India, t. 15, p. 94, 116). — 1884. Cszyskowski. (B. Soc. Ind. min., 2e, t. 3, p. 481). — 1884. Dieulafait. *Origine de certains phosphates de chaux en amas dans le calcaire de la série secondaire et de certains minerais de fer appartenant à la division des minerais en grains* (C. R., t. 98, p. 84), — 1886. De Grossouvre. *Gisements de fer en grains du centre de la France* (Ann. d. M.). — 1887. Daubrée. *Eaux souterraines anciennes*, p. 82. — 1888. De Grossouvre. *Sur l'origine du terrain sidérolithique* (B. S. G.F, 3e, t. 16, p. 287). — 1889. Stanislas Meunier. *Sur la bauxite et les minerais sidérolithiques* (B. S. G.F., p. 64). — 1892. L. De Launay. *La vallée du Cher dans la région de Montluçon* (B. C. G., n° 30). — 1900. L. De Launay. *Excursion à quelques gîtes minéraux et métallifères* (Congrès géolog. de 1900). — 1901. Lacroix. *Minéralogie de la France*, t. 1, p. 390.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fouilles locales, parmi lesquelles il faut signaler, dans ces derniers temps,

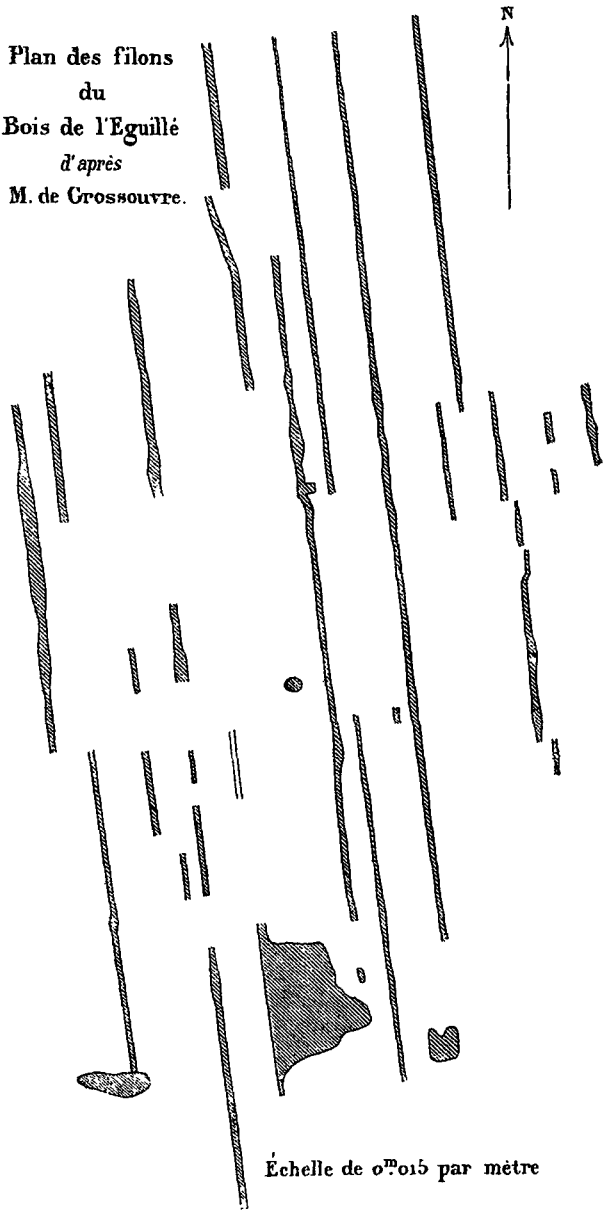


Fig. 260.

celles de Rosières, de Chanteloup près Lunery, à 10 km. de la Chapelle-Saint-Ursin et de Primelles.

Géologiquement, la figure 259 donne la coupe théorique d'un semblable

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gisement dans le cas où il a été recouvert après coup par du calcaire oligocène lacustre. Ce manteau de calcaire tertiaire fait souvent défaut, surtout dans les gisements que l'on a exploités au début, alors que l'on avait le choix; les exploitations récentes ont été de plus en plus amenées à le traverser par des petits puits ou sondages d'une vingtaine de mètres; mais il ne change rien à la disposition des poches de corrosion superficielle antérieures à lui, dans lesquelles se sont concentrées les argiles à minerais.

Ces poches de corrosion sont entièrement à rapprocher, comme allure aussi bien que comme origine, des excavations diverses que l'on connaît aujourd'hui si bien dans les plateaux des Causses, et auxquelles nous avons déjà comparé les poches à phosphorite du Quercy. Elles sont toujours limitées en profondeur, bien qu'on y observe des renflements et des sinuosités analogues à celles de tous les avens, avec de minces issues

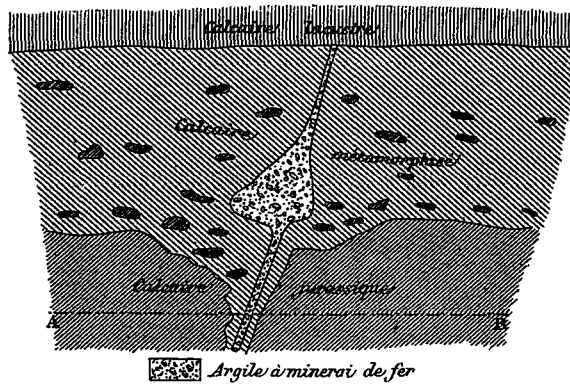


Fig. 261. — Coupe d'un gîte souterrain calcaire, d'après de Grossouvre.

obstruées à la base. Certaines dispositions où l'on a voulu voir des filons, comme la région du Bois de l'Eguillé représentée par la figure 260, ne sont que l'équivalent des diaclases élargies qui reparaissent constamment dans le plan des grottes et dont les plus importantes, celle par exemple où coule la rivière souterraine de Padirac, donneraient, si on les trouvait remplies de minerais, l'apparence du filon le plus incontestable. A. de Grossouvre, auquel on doit une étude très attentive de ces gisements, dont nous regrettons seulement de ne pouvoir adopter les conclusions, a parfaitement décrit les phénomènes d'altération périphérique qui ont précédé ou accompagné comme toujours le creusement des vides, donnant des calcaires saccharoïdes ou semi-cristallins et, sans doute, des dolomies. On y voit tous les types ordinaires de décalcification et de recristallisation du carbonate calcique secondaire entourer la formation de ces poches à argile résiduelle. Ainsi, sur la tranchée du chemin de fer de Montluçon à Bourges aux environs de Lunery, le passage du calcaire jurassique à l'argile à minerais de fer s'établit : par un calcaire attaqué et saccharoïde contenant des blocs anguleux encore intacts, entourés de diaclases argileuses ; puis, progressivement, par une zone où, au con-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

traire, l'ensemble étant du calcaire jurassique franc, la métasomatose a commencé seulement à s'exercer sur des directions de fissures, où il y a eu transformation locale en calcaire saccharoïde. Le changement de faciès du calcaire altéré tout autour des poches à minerai de fer est si profond que, dans les minières où ce calcaire modifié forme le toit et est surmonté à son tour (fig. 261), par du calcaire lacustre tertiaire du Berry (équivalent du calcaire de Brie sannoisien), on a pris longtemps ces bancs métamorphisés du calcaire jurassique pour du calcaire tertiaire et on en avait tiré des conclusions théoriques.

Les poches que nous venons de signaler ont des dimensions très varia-

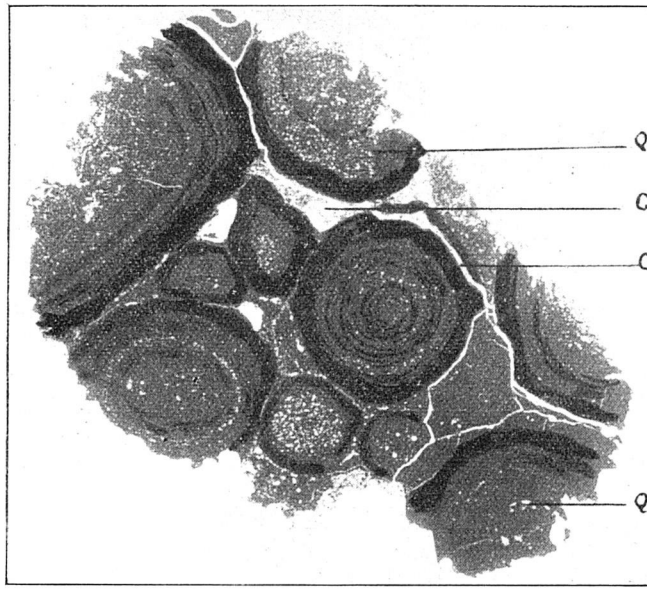


Fig. 262. — Minerai de fer en grains du Berry. Grossissement 6 D; lumière naturelle. C, calcite. — Q, quartz.

bles, avec une profondeur qui ne dépasse guère 15 à 20 m. L'argile qui les remplit présente deux types principaux pouvant également contenir des grains de fer : 1°, argile ocreuse et veinée de blanc ou parfois teintée légèrement de vert (terrage) ; 2°, argile rouge. Cette différence tient évidemment à l'état d'oxydation plus ou moins avancé du fer que l'argile contient et correspond aux deux formes ordinaires d'altération superficielle : forme de peroxydation et de rubéfaction ; forme plus profonde de décalcification (ou de cémentation), dans laquelle a prédominé l'action de l'acide carbonique en excès sur celle de l'oxygène.

Les grains de minerai de fer, à structure nettement pisolithique, sont particulièrement abondants à la base de l'argile au fond de ces sortes de vasques ; ils peuvent pourtant aussi se trouver dans ses parties hautes. Tantôt ils y sont disséminés et nécessitent une préparation mécanique

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

(débourbage, etc.) pour en être isolés ; la teneur ordinaire des terrages ainsi exploités est, en général, en minerai propre, de 40 à 50 p. 100 ; tantôt ils se rapprochent assez les uns des autres pour former de véritables blocs de limonite, où un phénomène de recristallisation secondaire peut même avoir fait disparaître partiellement la structure oolithique primitive. Enfin, sur la périphérie des poches, il peut exister une zone, où les oolithes ont été soudées par de la calcite secondaire et constituent alors un *Castillard* trop pauvre pour être utilisé au haut fourneau.

Si l'on passe à un examen plus détaillé des minerais et de leur gangue, on voit que les grains de limonite présentent généralement la forme et la grosseur d'un pois (*Bohnerz* des Allemands) ; quelques-uns, plus gros et creux, passent à de véritables *ætites*. Ils ont, d'ordinaire, une surface extérieure brillante et une série de couches concentriques enveloppant au centre, un granule de sable ou d'argile (fig. 262). L'analyse moyenne des minerais donne :

Silice.	Alumine.	Per. de fer.	Manganèse.	Chaux.	Soufre.	Phosphore.
10,60	12,10	58,70	non dosé	1,20	traces	0.20

Cette analyse accuse une concentration d'alumine non moins remarquable que celle d'oxyde de fer (11 à 23 d'alumine contre 50 à 65 d'oxyde de fer, et, en moyenne, 11 de silice). Ces fers en grains forment donc une transition aux bauxites, dont l'origine est, selon nous, analogue et où la teneur en alumine atteint 40 à 80 p. 100, avec 0 à 20 p. 100 d'oxyde de fer, la silice descendant parfois au-dessous de 4 p. 100. Comme intermédiaires, on a, au Sud des Baux, des bauxites à grains ferrugineux, et, dans le Berry, des minerais très alumineux. Aux affleurements, les grains de limonite ont pu être déshydratés et transformés en hématite rouge. Quelques-uns sont magnétiques et présentent un mélange de berthiérine et de magnétite, comme les oolithes verts des terrains secondaires.

La teneur en phosphore est assez faible, depuis de simples traces jusqu'à 0,40 p. 100, ainsi que dans la plupart des minerais ayant passé par une altération superficielle en terrain calcaire. On peut signaler que des traces de cobalt et de manganèse se sont concentrées, comme cela arrive si souvent, parallèlement au fer et ont pu produire quelques « mines brûlées » assimilables aux « truffes » des argiles rouges à nickel de la Nouvelle Calédonie, qui sont, elles aussi, des argiles d'altération superficielle[1].

La gangue de terrage ocreux veiné de blanc accuse un excès très fort de silice libre sur la composition d'une argile (68,60 au lieu de 46) et, par contre, une proportion d'alumine très inférieure (13,60 au lieu de 40). Ce n'est donc pas une argile de lévigation mécanique, mais un produit de précipitation chimique, comme nous l'avons admis dans toute la théorie précédente. Cette proportion de silice peut s'accroître beaucoup dans certaines argilolithes de Mehun, qui se rattachent à la même formation.

Interprétation des gisements. — Pour interpréter ces gisements, il faut les faire rentrer dans l'ensemble stratigraphique auquel ils se rattachent. Pendant une période d'émersion continentale qui a pu comprendre tout

[1] Voir plus loin, t. 2, p. 539.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le crétacé et qui s'est terminée à la fin de l'éocène, il s'est produit, sur toute une très vaste étendue, dans l'Ouest du plateau Central, des phénomènes de ruissellement, accompagnés, vers la fin, de dépôts lacustres restreints et même, localement, de quelques petites concentrations saumâtres[1]. Ces phénomènes avaient dû être préparés par les grands mouvements de fracture et d'effondrement qui ont provoqué notamment les fosses de la Limagne, dont le remplissage a commencé au début de l'oligocène. Dans la région de Montluçon, par exemple, j'ait étudié[2] cette formation et montré comment elle présente, en transgression sur les terrains les plus divers depuis le micaschiste jusqu'au jurassique, des terrains détritiques parfois soudés à leur substratum et dont la nature varie beaucoup avec ce substratum immédiat, qui leur a fourni fréquemment des fragments encore anguleux. Ces terrains, composés d'argiles plus ou moins sableuses, ont, de tous côtés, un aspect très spécial tenant à des concentrations locales de fer et d'alumine qui y détachent des noyaux colorés rouges et jaunes. C'est l'aspect connu des bauxites et c'est le prélude des minerais en grains qui existent seulement plus au Nord, dans une région relativement restreinte. On les voit passer peu à peu à des calcaires lacustres sannoisiens.

Quand on atteint la région à minerais, il est visible qu'on a eu une circulation d'eaux souterraines et superficielles très intense, qui a dû prendre, dans le Berry, la forme dont les Causses offrent les types les plus caractéristiques. Nous nous représentons volontiers, à cette époque, dans la région du Berry où sont aujourd'hui les minerais de fer, un plateau de Causses, dans les profondeurs duquel les eaux souterraines avaient dessiné un réseau de cavités madréporiques à issues profondes, dont nous voyons aujourd'hui des témoins subsistants. Ces eaux, chargées d'acide carbonique comme toutes les eaux souterraines des terrains calcaires, ont pu, dans certaines conditions spéciales, être amenées à tournoyer dans quelques vasques en entonnoir, où le fer qu'elles tenaient en dissolution aura pris la forme oolithique, tandis que le résidu de ces eaux s'échappait par une étroite fissure à la base, comme cela se produit souvent dans les grottes à rivières souterraines. Ces oolithes se sont tout naturellement rassemblées surtout dans le fond de la vasque[3]. Puis, peu à peu, l'argile rouge, le limon des grottes, qui se précipitait autour de ces oolithes, aura fini par obstruer les canaux d'écoulement, forçant les eaux à s'en frayer de nouveaux. Lorsqu'on arrive aujourd'hui dans le fond d'un réseau de grottes, on est toujours arrêté par des poches d'argile rouge ou jaune qui remplissent des galeries compliquées et, si on en désobstruait quelques-unes sur une certaine longueur, on y trouverait peut-être des minerais de fer en grains, comme on y rencontre souvent, dans des conditions de formations analogue, des pisolithes calcaires également concrétionnés. Si l'on pouvait inversement pénétrer au-dessous des poches à minerais de fer du Berry,

[1] Vers le début de l'oligocène, on sait que la plus grande partie de la France était émergée, sauf les lagunes saumâtres du bassin de Paris, de la Garonne et de la Limagne: cette dernière correspondant avec la vallée du Rhône.

[2] 1891. *La vallée du Cher dans la région de Montluçon.* (Bul. Serv. Carte géol.)

[3] Ce mouvement n'est même pas nécessaire à supposer pour la formation des oolithes, qui se sont quelquefois concrétionnées sur place.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans les parties du calcaire où la circulation se serait faite d'une façon plus lente, peut-être y découvrirait-on des grottes à stalactites remontant à l'époque éocène.

A la fin du phénomène, il s'est constitué, sur la même région (peut-être précisément parce que les écoulements souterrains étaient bouchés) quelques lacs ayant donné lieu aux dépôts du calcaire du Berry (sannoisien, 46). Puis ce pays a été définitivement émergé, tandis que des lacs plus profonds subsistaient encore longtemps dans la Limagne, le bassin de Roanne, etc.

Exploitation. — Les minerais en grains du Berry, comme la plupart des minerais analogues, ont, en dehors de leur irrégularité de gisements, d'assez graves inconvénients. Ce sont, d'abord, des minerais trop alumineux et difficiles à fondre (mines froides des anciens). Puis ils sont presque toujours engagés dans une argile qui exige un débourbage, et leur teneur finale est médiocre. En ce qui concerne le phosphore, les minerais du Berry sont, au contraire, généralement d'assez bonne qualité : ce qui suffirait à les distinguer des minerais de marais à structure un peu analogue. Ceux de Meurthe-et-Moselle sont même très purs. Ceux du Berry retiennent au maximum 0,40 de phosphore. Depuis la réouverture partielle de 1890, on a produit, en 1890, dans le Berry, 54 000 t. de minerai valant 486 000 fr. En 1898, on était tombé à 19 700 t. valant 177 000 fr. En 1907, Rosières seul a encore produit 3 400 t. à 9 fr.

4° MINERAIS DE FER EN GRAINS DIVERS, LOIRE-INFÉRIEURE, QUERCY, BOURGOGNE, LORRAINE, JURA SUISSE

Loire-Inférieure, Mayenne, etc. — On doit considérer comme le produit d'altérations continentales et de remaniements presque sur place ayant eu pour point de départ probable des minerais ferrugineux siluriens, divers dépôts superficiels de fer, qui ont été momentanément exploités dans la Mayenne, l'Ille-et-Vilaine, les Côtes-du-Nord, la Loire-Inférieure. Les couches sont ordinairement formées d'hématite jaune, schisteuse, peu riche. Les rognons, à surfaces polies et arrondies, ont une plus grande teneur en fer ; leurs dimensions varient entre celle de la tête et celle d'un pois. Ils sont légèrement phosphoreux et produisaient autrefois des fers cassants, mais faciles à souder, que l'on traitait dans une foule de petites forges peu à peu disparues. Le plus important de ces gisements est celui de *Rougé*, dans la Loire-Inférieure, à 10 km. de Châteaubriant : gisement repris en 1883, et ayant produit, vers 1890, environ 50 000 t. par an[1]. En 1905, cinq minières de la Loire-Inférieure ont donné 61 500 t. de minerai hydroxydé compté seulement à 2 fr.

A Rougé, on a affaire à des poches comparables à celles du Berry, de un ou plusieurs hectares de superficie et, au plus, 6 à 7 m. de profondeur. Ces poches, encaissées dans des terrains divers, présentent, à la base, une couche d'argile blanche surmontée par du minerai compact, passant parfois à un poudingue ferrifère où sont englobés des fragments

[1] Voir plus haut, t. 2, p. 463.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de roches du pays ; au-dessus, on a des blocs de 1 ou 2 m. dans l'argile rouge et, plus haut encore, des blocs de plus en plus disséminés. Le tout est recouvert par des sables miocènes fossilifères qui montrent l'âge oligocène ou éocène de la concentration.

Poitou, Périgord, Quercy, etc[1]. — Des formations analogues à celle que nous venons d'étudier en détail dans le Berry se retrouvent encore, avec des variantes, dans d'autres parties de la France et des régions voisines. Ainsi, dans la Charente et la Dordogne, il existe d'assez nombreuses poches superficielles d'argiles bariolées avec pisolithes ou rognons souvent creux de limonite, psilomélane, silex et opales jaspeuses (Excideuil en Dordogne, etc.)[2]. Dans le Lot, on a exploité divers gisements de fer analogues (rognons de limonite et ætites dans les poches des calcaires secondaires).

Dans le Tarn-et-Garonne, les gisements de phosphorite des environs de Caylus et de Saint-Antonin renferment parfois, dans leurs argiles, de la limonite pisolithique agglomérée par de la phosphorite : ce qui confirme le rapprochement précédemment admis pour l'origine continentale de ces deux groupes de formations contemporaines[3]. L'Ardèche et la Lozère présentent également des formations sidérolitiques[4].

Bourgogne[5], **Franche-Comté, Jura et Suisse**[6]. — On retrouve des gisements du même genre assez nombreux : dans la Côte-d'Or à Magny et Beire-le-Châtel ; dans la Haute-Saône à Autray, Gray, etc.; dans le Doubs, près Montbéliard ; dans le Jura, à Jancigny, Echevannes ; en Suisse, dans l'Argovie, le Brisgau.

[1] Voir Lacroix. *Min. de la France*, t. 3, p. 390 et, plus haut, t. I, p. 702, la bibliographie des phosphorites. — Cf : 1838. Drouot. *Minières de la Dordogne* (Ann. d. M., 3e, t. 13). — 1845-1857. Delanoüe. *Sur la formation des minerais de fer d'Excideuil* (Dordogne) (B.S.G.F., 2e, t. 2, p. 388, et t. 3, p. 47; t. 14, p. 885). — 1849. Coquand. *Sur les minerais de fer du Lot, Lot-et-Garonne, Aveyron, Tarn-et-Garonne* (B.S.G.F., 2e, t. 6, p. 229 et 328). — 1849. Raulin. *Sur l'âge de plusieurs minerais de fer tertiaires de l'Aquitaine* (B.S.G.F., 2e, t. 6, p. 67, et 2e, t. 8, p. 25 et 30). — 1853. De Rouville. *Sur l'âge du minerai de fer superficiel des plateaux calcaires du Sud de la France* (B.S.G.F., 2e, t. 10, p. 397). — 1857. Coquand. *Sur les min. de fer pisolithiques de la Charente* (B. S.G.F., 2e, t. 14, p. 889). — 1873. Combes. *Sur l'origine et la form. des min. de fer du Haut-Agenais* (Lot-et-Garonne) *et des phosph. de chaux du Quercy* (Lot).

[2] Voir plus haut, au t. 1, la description des Kaolins des Eysies.

[3] Voir plus haut. t. 1, p. 703, Sur les phosphorites du Quercy.

[4] 1849. Fauvergue. *Sur le min. de fer en grains de Saint-Priest, près Privas* (Ardèche) (B.S.G.F., 2e, t. 6, p. 524). — 1875. Fabre. *Sur le sidérol. de la Lozère* (B.S.G.F., 3e, t. 3, p. 583).

[5] 1838. Rozet. *Minières de Beire-le-Châtel* (Côte-d'Or) (B.S.G.F., 1re, t. 9, p. 148; (10, p. 64). — 1838. Thiria. *Minières de Magny* (Côte-d'Or) (B.S.G.F., 1re, t. 9, p. 375, et Ann. d. M., 3e, t. 15, p. 11). — 1866. Tournouer. *Minerais de Côte-d'Or* (B.S.G.F., 2e, t. 23, p. 782; t. 24, p. 288 et 1017; t. 29, p. 836).

[6] 1821. Mérian. *Minerai d'Aarau* (Beitr. zur Geog.. Bâle, t. 1, p. 150). — 1828. Thiria. *Min. de la Haute-Saône* (Ann. d. M., 2e, t. 5). — 1832. Walchner. *Sur les min. de Candern en Brisgau* (Mém. Soc. Hist.nat. Strasbourg, t. 1, 2e liv.). — 1834. Thiria. *Sur les min. du Doubs* (F.S.G.B., t. 4, p. 32). — 1851. Thiria. *Min. de la Franche-Comté* (Ann. d. M., 4e, t. 19, p. 49). — 1855. Four. *Sur les dépôts de fer pisiformes de la Haute-Saône* (B.S.G.F., 2e, t. 12, p. 231). — 1855. Greppin. *Notes géol. sur les terrains du Jura Bernois*. — 1857. Courroux. *Sur les mines de fer de Delémont* (Suisse) (B. S. Ind. min., t. 3, 2e liv.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Meurthe-et-Moselle[1]. — Des gisements analogues à ceux du Berry, mais plus purs en phosphore, ont été exploités en Meurthe-et-Moselle jusqu'en 1880. Ces poches n'étant pas, comme celles du Berry, recouvertes par un autre terrain qui donne une limite supérieure précise de leur âge, il

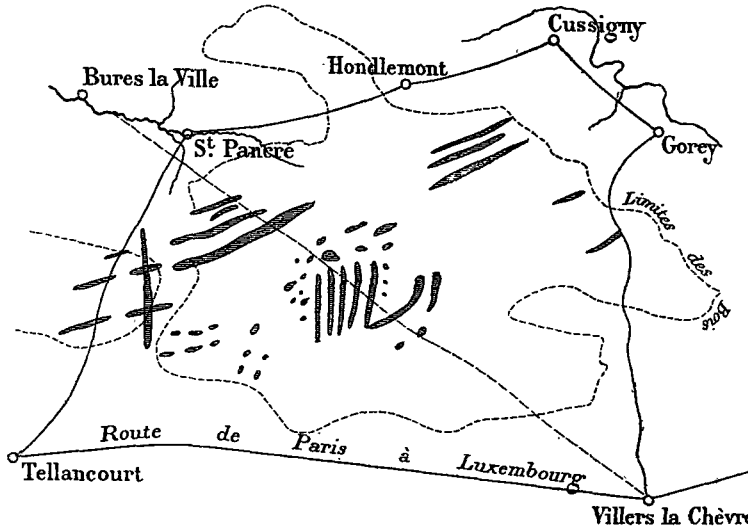


Fig. 263. — Plan des gisements de fer de Saint-Pancré.

est possible qu'elles soient en réalité, plus récentes que l'oligocène, peut-être même pléistocènes, comme on est porté à le croire pour les poches superficielles de la Haute-Marne, comme les Allemands l'ont admis pour le prolongement de ces gîtes de Meurthe-et-Moselle en Alsace-Lorraine. Certains ossements qu'on dit y avoir été trouvés conduiraient, en effet, à adopter cette hypothèse; mais il a pu arriver qu'on les ait rencontrés dans un remaniement postérieur qui aurait eu lieu à la surface.

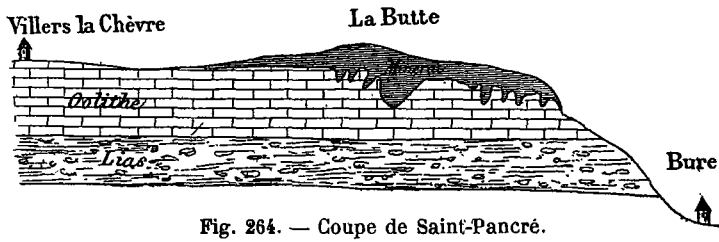


Fig. 264. — Coupe de Saint-Pancré.

Les figures 263, 264 et 265 montrent leur disposition en plan et en coupe. Le minerai s'y trouve dans des poches ou entonnoirs d'où partent des boyaux et corridors souterrains (fig. 266). La plupart de ces poches

[1] 1828. Voltz. *Géogn. des deux dép. du Rhin.* Strasbourg. — Jacquot. *Sur les gîtes ferrifères du dép. de la Moselle.* — 1871: Levallois: *Sur le minerai de fer en grains* (B. S.G.F., 2e, t. 28, p. 183). — Voir, plus haut, sur les minerais toarciens, p. 485 à 494.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sont alignées suivant les cassures de la région (fig. 263). Elles sont remplies d'une argile sableuse jaune rougeâtre ou rouge contenant des grains de minerai.

Les minerais riches, dont la teneur en fer varie de 35 à 54 p. 100, sont formés d'hydroxyde de fer à poussière jaune ou rouge brun généralement caverneux, à gangue quartzeuse et dont les cavités sont fréquemment tapissées d'une multitude de cristaux de quartz. Il existe, en outre, des



Fig. 265. — Coupe des gîtes de fer en grains de l'arrondissement de Briey et Thionville.

blocs de quartz opaques et tous les intermédiaires entre ceux-ci et les minerais quartzeux.

On a exploité, à *Florange* et à *Russange*, des gîtes de fer d'un autre genre, intercalés dans le pléistocène.

Ces gîtes se composent : d'hématite brune en fragments aplatis émoussés seulement sur les angles et que l'on désigne sous le nom de pla-

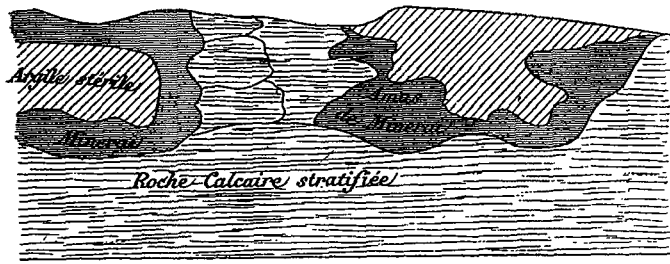


Fig. 266. — Coupe des minerais de fer en grains de Ville-Hondlemont.

quettes ; de morceaux de fer oxydé bruns ; de petits grains arrondis et brillants d'hydroxyde de fer analogues à ceux qui composent les couches du toarcien et enfin de débris roulés de roches calcaires. Le dépôt n'a jamais plus de quelques mètres d'épaisseur ; il est recouvert par le limon jaune diluvien qui renferme également de nombreux fragments de la roche ferrifère. Sa gangue est un sable micacé.

Ces dépôts sont des gîtes d'alluvion ou d'éluvion provenant de la destruction et du lavage de gîtes appartenant au toarcien et au bathonien ; le sable résulte lui-même de la destruction du grès supraliasique.

Leur position vient confirmer cette idée ; ils sont en effet, déposés aux pieds des escarpements, aux dépens desquels ils sont formés, et qu'ils entourent comme une ceinture.

Sauf en deux points, leur exploitation n'a jamais pris grande extension.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Jura suisse[1]. — Dans le Jura suisse, comme un peu partout dans l'Europe Centrale, on trouve,en divers points, des minerais de fer en grains remplissant des poches du calcaire secondaire, là où le début du tertiaire est marqué par une lacune de la sédimentation marine. Leur exploitation très ancienne est aujourd'hui réduite à peu de chose. De 1854 à 1904, on a extrait, au total, 765 000 t. représentant 320 000 t. de fer. On cite notamment la région de Delsberg.

5° SILÉSIE, ESPAGNE, RUSSIE, ETC.

Silésie. — Nous rappelons ce qui a été dit plus haut[2] sur les minerais de Silésie, que l'on trouve remplissant des poches de calcaires triasiques, limitées en profondeur. C'est, en somme, une forme de « chapeau de fer » avec remise en mouvement localisée.

Huelva. — *On peut rattacher à un phénomène du même genre, mais* avec conditions de concentrations différentes, les dépôts d'oxyde de fer qui recouvrent certains plateaux de la province d'Huelva, au voisinage des amas pyriteux, notamment à la Mesa de los Pinos, près de Rio Tinto.

Guipuzcoa. — En Guipuzcoa, à Cerain et Multiloa, on exploite des amas d'hématite brune qui remplissent des diaclases et des poches du calcaire crétacé sans pénétrer dans les marnes et grès sous-jacents. La production a été de 70 000 t. en 1907. Le cube, d'après R. Adam de Yarza, serait de plus de 1,5 MT.

Santander.— On connaît, dans la province de Santander, des gisements tout à fait analogues à ceux du Berry, formés d'hématite brune en grains ou rognons avec de l'argile rougeâtre ferrugineuse et un peu de sable remplissant des poches dans le calcaire infracrétacé, jusqu'à 70 m. de profondeur.

Les groupes de Cabarga, Camargo etc., *sont estimés contenir* 20 MT.

Russie Centrale[3].— La Russie Centrale comprend un assez grand nombre de gisements de substitution ou d'altération, associés à des calcaires d'âge divers : dévonien dans le gouvernement de Tambov près Lipezk ; surtout carbonifère dans les gouvernements de Riazan, Orel, etc. Au milieu de ces calcaires, on trouve des poches argileuses de décalcification avec des débris ou nodules de limonite dont les coupes rappellent celles du Nassau, etc.

6° CONCENTRATIONS ACTUELLES

Des concentrations ferrugineuses continuent à se faire de nos jours, non seulement dans les lacs et marais, mais aussi dans certaines dépressions et cavités où aboutissent des eaux ayant circulé sur des gisements de fer antérieurs ou sur des roches ferrugineuses.

[1] 1910. C. Schmidt. *Iron ore resources of the world*, p. 110 à 116, avec bibliographie.
[2] Tome 2, p. 399.
[3] 1910. Bogdanovitch. *Iron ore resources of the world*, p. 486.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il se forme, par exemple, aux Etats-Unis, dans le Colorado, des gisements de limonite importants à Hall's Valley, Park County, aux dépens de lits pyriteux.

Dans le même Etat, à Leadville, l'altération des minerais sulfurés en a donné aussi, récemment [1].

Aux mines Prosser, près de Portland, Oregon, la décomposition superficielle d'un basalte a donné des lits de limonite, englobant des racines d'arbres, dont nous allons retrouver l'équivalent, attribuable à une latéritisation, en Irlande [2].

7° LATÉRITES

Les régions tropicales offrent, aussi bien en Afrique qu'en Asie et en Amérique, des masses considérables de roches superficiellement altérées suivant le processus qui a été étudié précédemment sous le nom de latéritisation [3] dans lesquelles la teneur en fer est souvent très notable et va jusqu'à constituer de véritables minerais. Ces minerais, généralement encore inutilisés aujourd'hui, ont souvent le défaut d'être très alumineux et siliceux et de passer progressivement à des bauxites. Ailleurs, sur les roches basiques où ils sont particulièrement riches, une teneur de 1 à 2 p. 100 de chrome les rend parfois inutilisables. Ils peuvent constituer une réserve pour l'avenir.

Cuba [4]. — L'île de Cuba présente, dans les trois districts de Cubitas, Mayari et Moa, d'importants gisements de fer dus à la latéritisation de la serpentine. Ces minerais recouvrent la serpentine d'un manteau qui peut atteindre 10 m. d'épaisseur. A la partie supérieure, le minerai est formé de grains rougeâtres qui ont pu se souder ensemble ; vers le fond, il devient terreux et passe à la serpentine dont il commence par englober des fragments. La limite inférieure est très irrégulière. On n'y remarque aucune trace de stratification. Sa teneur en fer moyenne est de 41 à 45 p. 100, avec 14 d'alumine et 7 de silice. On y rencontre, par endroits, jusqu'à 1,5 de nickel et cobalt ; ailleurs, jusqu'à 2,5 p. 100 de chrome : métaux qui correspondent bien à l'altération normale des roches serpentineuses. L'impureté principale est l'alumine, sous la forme de bauxite, dont la proportion augmente vers la partie supérieure. La teneur en chrome est un inconvénient pour la fusion ; mais il paraît qu'on en a triomphé. Un échantillon donne, par exemple : 50 p. 100 de fer ; 1,75 de chrome, 1 de nickel, 0,63 de manganèse ; 10,82 d'alumine ; 2,21 de silice ; 0,13 de chaux ; 0,13 de magnésie ; 0,115 de soufre. Il est évident que l'altération a éliminé

[1] 1889. CHAUVENET, *Iron Res. of Colorado* (M. E. juin).

[2] 1886. PUTNAM (Tenth Census, t. 15, p. 16).

[3] T. 1, p. 197 à 199.

[4] 1911. *Documentos relativos à la clasific. de los minerales de hierro de las minas de Mayari en la isla de Cuba* (Madrid, A. Marzo. 148 p.). — 1911. J. COX. C.-K. LITH et W.-J. MEAD. etc. *The Iron-ore deposits of Cuba* (Bul. of Am. I. Min. Eng., mars ; n° 51). — 1911-1912. GUARDIOLA, KINDELAN, etc. *Sobre el origen de los criaderos de Mayari* (Discussion dans la Revista minera. 16 janv. ; 24 févr. ; 1er mars, 16 mars).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

progressivement la magnésie et la silice en laissant un résidu où le fer s'est concentré.

Guinée française. — On peut rapprocher des gisements de Cuba les masses de minerais atteignant des millions de tonnes qu'a rencontrées la ligne de chemin de fer de Konakry et qui ont également le défaut d'être chromifères.

Irlande[1]. — En 1869, on a fait un essai d'exploitation sur des lits ferrugineux associés aux basaltes du comté d'Antrim, au N.E. de l'Ulster et assimilables à certains égards aux latérites. Ces minerais sont alumineux, parfois pisolithiques. Mais ailleurs, notamment aux mines de Glenariff, ils contiennent une certaine abondance de magnétite, exceptionnelle dans les latérites de l'Inde : ce qui peut tenir seulement aux couches dont ils proviennent. On pensait les incorporer dans les lits de fusion du Cumberland.

Queensland, Nouvelle-Calédonie, etc. — Des minerais semblables sont connus dans nombre de régions : en Queensland ; en Nouvelle-Calédonie ; dans les Indes ; aux Etats-Unis, dans l'Etat de Washington.

[1] 1880-81. ARGALL. *Notes on the tertiary iron ore measures of Glenariff valley* (J. geol. Soc. of Ireland. t. 16, p. 98, et Sc. pr. of Dublin, Soc., nouvelle série, t. 2, nos 1 à 4, p. 151). — 1881. MALLET. *On the ferruginous beds associated with the basaltic rocks of north-easthern Ulster in relation to indian* (Rec. geol. surv. of India, t. 14, n° 1, p. 139 à 148). — TATE AND HOLDEN. *On the Iron ore assoc. with the basalt of N. E. Iretand* (O. J. Geol. Soc., t. 26, p. 151).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXXVIII

MANGANÈSE

Mn = 54,93

A. — USAGES, COMMERCE ET PRIX DES MINERAIS

Usages. — Le grand usage du manganèse, dont le développement rapide a déterminé l'essor parallèle de l'extraction de ce métal, est la métallurgie du fer. 90 p. 100 des minerais produits passent à cette application. Il existe, en outre, quelques emplois secondaires, dont nous parlerons ensuite : notamment les bronzes manganésifères, la préparation de l'oxygène, celle du chlore, etc.

L'emploi du manganèse en sidérurgie a pour point de départ la facilité avec laquelle s'allient le fer et le manganèse, si analogues par leurs propriétés, en même temps que si rapprochés par leurs poids atomique. Dans cette industrie, les minerais de manganèse sont employés à produire des ferro-manganèses, spiegel, etc., que l'on ajoute ensuite dans la fabrication de l'acier pour obtenir l'épuration en soufre et en phosphore. Avec le soufre, le manganèse donne un sulfure très peu fusible, tandis que le sulfure de fer est fusible. Ce sulfure passe ainsi dans la scorie[1]. D'une façon générale, le manganèse élimine les impuretés en formant des composés dégageant beaucoup de chaleur et facilement scorifiables, qui se séparent du métal. Le manganèse permet ainsi d'obtenir, avec les produits du convertisseur Bessemer ou du four Martin, la bonne qualité à chaud, les facilités de forgeage et de laminage et la dureté.

La consommation de manganèse par tonne d'acier est évaluée en moyenne à 10 kg : ce qui correspondrait, par an, dans le monde à 450 000 ou 500 000 t. de manganèse métal.

On appelle généralement *spiegel eisen,* ou *spiegel,* une fonte manganésée tenant de 2 à 25 p. 100 de manganèse. On réserve le nom de *ferro-manganèse* pour la fonte de fer renfermant plus de 25 p. 100 de manganèse : cette limite de 25 p. 100 correspondant au point où l'alliage, réduit en poudre, cesse d'être attirable à l'aimant. On fabrique, en outre, des

[1] 1902. Le Chatelier et Ziegler. (Bul. Soc. Chim., 3e, t. 27, p. 1140) — 1904. Léon Guillet. *Les aciers spéciaux* (1 vol. Dunod). — 1909. Escart. *Les métaux spéciaux* (1 vol. Dunod).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

composés siliceux, soit au haut fourneau, soit surtout électriquement, tels que le *ferro-silicium*, où le manganèse ne dépasse pas 2 p. 100, tandis que le silicium peut atteindre 94 p. 100, le *silico-spiegel* et le *silico-manganèse*, qui peuvent être, par exemple, à 75 de manganèse pour 30 de silicium ou, inversement, à 75 de silicium pour 25 de manganèse.

L'industrie des ferro-manganèses est à peu près contemporaine de la découverte du Bessemer. On l'a pratiquée à Bonn, Terrenoire et Glascow, dès 1865. Après avoir travaillé au four à sole par petites quantités, on a employé le haut fourneau[1] et l'on est arrivé récemment au four électrique (procédés Gin, Hofer, etc.). Ce dernier procédé a permis d'obtenir des ferro-manganèses à 98 p. 100 et même, à titre exceptionnel, du manganèse pur. L'industrie ne demande généralement pas plus de 80 p. 100 : limite extrême à laquelle les alliages sont stables. Le carbone passe, en même temps, de 4 à 7 p. 100, quand le manganèse passe de 10 à 80.

On utilise également des *alliages de cuivre et de manganèse*, notamment pour les coussinets et les boîtes à feu des locomotives. C'est ainsi que le cuivre raffiné du Mansfeld, mélangé à 11 p. 100 de manganèse, donne le bronze manganésé susceptible de résister à une forte tension.

Avec un mélange de 85 de cuivre, 6 d'étain, 3 de zinc et 3 de cupro-manganèse, on a un alliage qu'on peut courber à angle droit sans qu'il y ait de fissure ; avec 80 de cuivre, 10 d'étain et 10 de manganèse, on a un métal très dur, mais encore facile à travailler.

Parmi les autres applications du manganèse, on peut citer : *la préparation du chlore, des chlorures décolorants, hypochlorites et chlorates*, qui en consomme beaucoup moins depuis l'adoption générale des procédés de régénération Weldon. On s'en sert aussi dans la *préparation de l'oxygène* par le procédé Tessier du Motay.

Le manganèse est utilisé, depuis longtemps, à l'état de bioxyde naturel dans les verreries, sous le nom de *savon des verriers*, à cause de la propriété qu'il a de blanchir le verre (coloré en jaune par le fer).

La *purification du gaz d'éclairage* utilise des chlorures de manganèse restant comme sous-produits de la fabrication des hypochlorites.

Citons encore : l'*agriculture* qui prend du sulfate de manganèse ; les *poteries, faïenceries*, etc., qui, en variant la proportion du peroxyde dans la pâte, obtiennent toute une gamme de tons du violet au brun ; les fabriques de *permanganate de potasse ;* la *teinture* et l'*impression des tissus* (tons bistres et marrons) ; la *médecine*, la *fabrication des piles électriques*, la *préparation du brome et de l'iode*, etc.

Commerce et prix des minerais de manganèse. — Les *prix du manganèse* ont assez fortement varié avec les époques.

Jusque vers 1840, on employait peu de manganèse, seulement pour les verreries et pour la fabrication du chlorure de chaux. Les sources étaient : Tavistock en Devonshire, Launceston en Cornwall, un peu le Harz et le Piémont. L'exploitation, quoique coûteuse, était, à ce moment, très rémunératrice ; mais la découverte de grands gisements en Allemagne obstrua à

[1] La fabrication des ferro-manganèses nécessite des hauts fourneaux spéciaux résistant à 2 000° (on passe 2 tonnes de coke pour 1 tonne de fonte).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tel point le marché, que les mines anglaises durent fermer. Le prix fut alors de 200 fr. la tonne pour un minerai à 70 p. 100 de bioxyde (teneur étalon pour les usages chimiques); puis il baissa peu à peu, avec la découverte de gisements en Espagne, jusqu'à 74 fr. la tonne en 1865, et les mines allemandes durent fermer à leur tour. Ces gisements espagnols, limités et superficiels comme la plupart des gisements de manganèse, s'épuisèrent; en même temps, la métallurgie commença à employer le manganèse; il y eut une demande à laquelle les mines ne purent suffire, et, par suite, une hausse. Mais le résultat naturel de cette hausse fut : d'une part, qu'on chercha et trouva des mines de manganèse de tous côtés; d'autre part, qu'on s'efforça d'économiser le manganèse et qu'on découvrit les procédés de régénération pour la fabrication du chlore.

Avant le procédé Weldon et le procédé Deacon, on consommait par an, pour le chlore, 54 000 t. de minerais à haute teneur. On est tombé, pour cette application, à 5 ou 6 000 t.

D'autre part, avec le grand développement actuel de l'emploi métallurgique, qui a relevé la demande, les conditions d'achat ont varié. Au lieu de s'attacher uniquement à la teneur en oxygène en excès par rapport au bioxyde, on s'occupe aujourd'hui surtout de la teneur en manganèse, en préférant une oxydation moindre et l'on diminue la valeur quand la silice ou le phosphore interviennent.

En 1881, le minerai à 70 p. 100 de bioxyde valait, aux Etats-Unis, 86,50 fr., avec 2,60 fr. par unité en plus. En 1886, le prix tomba à 80 fr. En 1893, un minerai à 50 p. 100 de manganèse valait 1,90 fr. l'unité, soit 95 fr. la tonne et le minerai à 40 p. 100, 60 fr. En 1896, les carbonates calcinés de las Cabesses à 52-55 de manganèse, 6-8 de silice et 0,03 de phosphore cotaient 1,20 fr. l'unité. En 1906, les troubles révolutionnaires du Caucase ont amené une forte hausse sur les minerais de manganèse. Un minerai à 50 p. 100, qui valait 52,75 fr. en 1902, est monté à 75,60 fr. : l'unité passant de 0,95 fr. à 1,70. Il en est résulté un grand développement des exploitations dans diverses régions nouvelles, notamment aux Indes et au Brésil.

Enfin, pour l'état de choses actuel, nous prendrons d'abord le cas d'un emploi métallurgique, qui est le plus habituel.[1] Les achats américains se font, par exemple à la Carnegie Steel Cy, qui est le plus gros consommateur aux Etats-Unis, sur les bases suivantes (1908) :

On paye, pour une tonne de minerai à 49 p. 100 de manganèse, 1 fr. 50 l'unité ou 73 50 fr. la tonne; de 46 à 49, 1,45 fr.; de 43 à 46, 1,40 fr.; de 40 à 43, 1,35 fr. Si le minerai contient moins de 40 p. 100 de manganèse, il peut être refusé D'autre part, les prix précédents sont faits pour un minerai tenant moins de 8 p. 100 de silice et 0,25 de phosphore. Chaque unité de silice en sus de 8 diminue la valeur de 0,75 fr. par tonne, la silice nécessitant une dépense supplémentaire de combustible; chaque 0,02 p. 100 de phosphore, de 0,10 fr. par unité de manganèse : 5 fr. pour un minerai à 50 p. 100. Au-dessus de 12 p. 100 de silice ou de 0,27 de phosphore, le minerai peut être refusé. Les minerais à faible teneur en manganèse de 20 à 40 p. 100 trouvent encore un débouché s'ils sont en même

[1] Voir 1910. A. Rzehulka (Z. f. ang. Chem., 25 nov.). *The Min. Ind. for* 1910, p. 472.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

temps ferrugineux. Par contre, l'état physique est à considérer: les minerais pulvérulents sont une gêne au haut fourneau.

En Russie, les minerais sont généralement vendus sur la base de 48, 49 ou, rarement, 50 p. 100 de manganèse. La teneur peut cependant monter à 55 p. 100. On diminue de 0,30 fr. à 0,40 fr. par unité de silice au delà de 10 p. 100. Un bon minerai à 50 p. 100 valait 61 fr. la tonne à Poti en 1905 et 67 fr. en 1907.

Les minerais de l'Inde sont vendus sur une base de 45, 48 ou 50 p. 100, avec échelle de 0,15 fr. par unité de 48 à 50. On admet 8 p. 100 de silice.

Les minerais à haute teneur (75 p. 100 de bioxyde) sont pris pour la *fabrication de l'oxygène et des matières colorantes*, à des taux variables de 100 à 200 fr. la tonne, suivant la manière dont le minerai se comporte expérimentalement à l'essai.

Enfin les fabricants de *chlorures décolorants* et d'*eau de Javel* achètent d'après le titre chlorométrique, et diminuent leurs prix suivant la teneur en matières étrangères, telles que carbonates, oxydes de fer et, généralement, toutes substances solubles dans l'acide chlorhydrique La teneur étalon pour les industries chimiques est de 70 p. 100 de bioxyde de manganèse (44,25 de Mn). On sait qu'un perfectionnement introduit par Weldon permet, en traitant par la chaux le résidu de l'action de l'acide chlorhydrique et soumettant à une oxydation, de régénérer un composé noir de chaux et manganèse qui peut être employé de nouveau.

Le commerce des minerais est surtout entre les mains de commerçants anglais, tels que la maison Leech, Harrison et Forwood de Liverpool. Le commerce des minerais du Caucase et du Japon se fait, en outre, à Hambourg.

B. — STATISTIQUE

Le caractère superficiel des gisements de manganèse rend la plupart de leurs exploitations instables et précaires. A quelques années de distance, on voit les champs d'exploitation disparaître, remplacés par des champs nouveaux. Actuellement, la production mondiale du manganèse s'exprime par les chiffres suivants :

TABLEAU 36. PRODUCTION MONDIALE DES MINERAIS DE MANGANÈSE
(EN 1 000 TONNES, *mt*)

	1885	1905	1906	1907	1908	1909	1910
Indes Britanniques (exportation) . .	»	254	604	942	685	653	»
Russie (exportation) { Caucase . . .	60	341	770	668	112	108 }	800
Russie (exportation) { Nikopol . . .	»	158	205	252	250	366 }	
Brésil	»	224	201	233	166	240	253
Allemagne.	25	51	52	74	67	77	80
Espagne.	4	26	62	41	17	»	»
Autriche-Hongrie	9	23	20	22	28	28	»
France.	717	617	11	18	16	9	»
Japon	»	14	54	20	11	7	
Grande-Bretagne.	12	14	23	16	6	2,8	5,5
Etats-Unis (minerais de fer manganésifère)s	»	877	1.159	1.322	642	1.000	»

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Indes. — La production des Indes, qui est devenue en 1907 la principale du monde entier, ne remonte pas loin. En 1897, on ne produisait que 74 000 t. On a atteint un moment près de 1 000 000 t. Ce développement date du moment où on a mis en exploitation les riches gisements de la région de Nagpur et Jabalpur dans les provinces centrales.

La production de 1909 vient surtout des provinces centrales (386 000 t.) et de Madras (140 000 t.).

Aux Indes, les conditions d'exploitation amènent à n'extraire et à n'exporter en général que des minerais tenant 48 à 50 p. 100. Cette haute teneur correspond à la composition minéralogique ordinaire des minerais indous, qui sont des braunites (Mn^2O^3) plutôt que des pyrolusites (MnO^2).

Du temps où les minerais de manganèse étaient surtout employés pour la fabrication des chlorures, la catégorie des pyrolusites, étant plus riche en oxygène, avait des avantages. Aujourd'hui, où l'emploi du manganèse est surtout la métallurgie, c'est la teneur en métal qui compte seule, avec la pureté en phosphore (moins de 0,1 p. 100 à Nagpur).

Russie[1]. — La Russie, qui produisait 192 000 t. en 1896, a atteint à un moment 1 015 000 t. en 1906, mais a considérablement décliné depuis ce moment.

La plus grande partie est venue jusqu'en 1907 du gouvernement de Koutaïs (Kvirila).

Ces minerais, dits de Tchiatoura, signalés dès 1848 par Abich, n'ont commencé à être exploités qu'en 1879. Leur teneur marchande est de 46 à 48 p. 100 de manganèse. On leur reproche d'être très friables, siliceux et parfois un peu phosphoreux. Leur production s'est longtemps accrue dans les proportions suivantes : 1880, 10 000 t.; 1885, 56 000 t.; 1889, 70 000 t.; 1890, 168 000 t.; 1896, 200 000 t.; 1897, 232 000 t.; 1905, 341 000 t.; 1907, 568 000 t.. Mais, en 1908, il s'est produit une chute sensationnelle. De 652 000 t., on est tombé à 110 000 et de 3 250 ouvriers employés à 670.

On en estime le cube, sur 60 km.^{2}, avec 1,50 m. d'épaisseur, à plus de 100 MT.

L'autre grand champ minier russe pour le manganèse, celui de Nikopol (gouvernement d'Iékaterinoslav), exploité depuis 1886 : a produit 158 000 t. en 1905, 252 000 t. en 1907, 366 000 t. en 1909.

Brésil. — Au Brésil, l'exploitation du manganèse est toute neuve. En 1897, on ne produisait que 16.000 t. En 1908, on a dépassé 250 000 t. Les principaux gisements sont dans les provinces de Minas Geraes et de Matto Grosso. A Morro da Mina (Minas Geraes), on a extrait, depuis 1907, environ 230 000 t.

Allemagne. — La production allemande vient surtout de la Hesse et du Nassau, où les minerais sont principalement des minerais ferro-manganésifères à faible teneur en manganèse ne dépassant guère 20 p. 100 de

[1] 1903. DEMARET-FRESON. *La concurrence des minerais de manganèse du Brésil et du Caucase* (Bruxelles). — *Mineral Industry during* 1910, p. 476 (comparaison du Caucase et de l'Inde).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

manganèse, mais renfermant, en outre, 30 à 35 p. 100 de fer. Il y a là d'assez fortes quantités de minerais pauvres à 12 ou 15 p. 100, qu'on peut vendre une douzaine de francs sur place.

Espagne et Portugal. — La région de *Carthagène* a produit des minerais de fer plus ou moins manganésifères à 10 ou 20 p. 100 de manganèse avec 20 à 35 p. 100 de fer, minerais associés à des hématites. Ils ne sont utilisés que lorsque la teneur en silice ne dépasse pas 10 p. 100. Les minerais sont exportés en Angleterre, un peu à Cette.

La province de *Huelva* contient également de nombreux gisements de manganèse, filons en dépôts superficiels, en relation très probable avec l'altération des amas pyriteux de la même région. On les a exploités un moment activement.

Des gisements analogues, situés au *Portugal*, produisaient 17 000 t. en 1886, 7 000 t. en 1889 et ont disparu peu à peu.

France. — En France, nous n'avons qu'une mine de manganèse durable à Romanèche (Saône-et-Loire). Cette mine, qui produisait 14 000 t. en 1890, est descendue à 4,539 t. en 1908, à 3 845 t. en 1909.

Une mine de carbonate de manganèse, située à las Cabesses, dans l'Ariège, a joué quelques années, de 1892 à 1896, un rôle prépondérant. En 1908, elle a encore produit 6.000 t.; 1 400 t. en 1909.

Quelques mines de silicate de manganèse dans les Hautes-Pyrénées, telles que Loudervielle, Adervielle et Vieille-Aure, extraient des minerais qui passent à un traitement électrique direct aux usines de Villelongue, près Pierrefitte. La production de minerais a été de 4 460 t. en 1908, 3 300 t. en 1909.

La France, qui arrive ainsi (1909) à 9 400 t., importe, en outre, des minerais du Caucase, des Indes et du Brésil.

Angleterre. — Dans ce pays, la production de minerais de manganèse subit des fluctuations considérables. Elle était, en 1873, de 8.254 t.; elle tombe à 1 287 t. en 1883. En 1886, par suite de l'utilisation de gîtes situés dans le cambrien du Merionetshire (11 285 t.), elle remonte à 12 763 t, à 13 054 t en 1887. En 1898, elle est réduite à 235 t. En 1906, elle remonte à 23 000 t. En 1909, elle n'est plus que de 2 812 t. et 5 554 t. en 1910 (production venant presque tout entière du Pays de Galles).

Mais l'Angleterre absorbe, de plus, pour son industrie, une proportion de minerais de manganèse qui a été : en 1859, de 25 536 t.; en 1869, de 51 517 t.; en 1879, de 12 172 t.; en 1886, de 47 481 t.

Pays divers. — Il faut, ensuite, mentionner un certain nombre de producteurs intermittents.

Ainsi le *Chili* (provinces de Santiago et Coquimbo) avait donné 38 000 t. en 1886. Après être descendu à 20 000 t. en 1898, il était remonté à 41. 000 t. en 1899. Actuellement, il est tombé à zéro. La grande difficulté pour ce pays, jusqu'à l'exécution du canal de Panama, est l'élévation du fret qui monte à 30 fr. pour l'Angleterre.

Cuba est monté à 40 000 t. en 1902 pour s'effacer ensuite. La *Grèce* oscille entre 10 000 t. et 14 000 t. avec ses minerais de Milos, auxquels

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

s'est ajoutée un moment une certaine extraction du Laurion. Les minerais du Laurion étaient des minerais de fer manganésifères à 15 ou 18 p. 100 de manganèse, que l'on a pu vendre un moment 0,80 fr. l'unité à Anvers (avec 12 fr. de fret), mais dont le débouché était très limité.

Le *Japon*, parti de 4 324 t. en 1904 pour atteindre 54 339 t. en 1906, est retombé à 6 660 t. dès 1909.

On doit enfin faire une place à part aux *États-Unis*, qui ne produisent pour ainsi dire pas de véritables minerais de manganèse, à peine quelques milliers de tonnes en Virginie, mais où l'on extrait environ un million de tonnes de minerais de fer manganésifères, surtout dans la région du Lac Supérieur, ainsi que quelques minerais d'argent ou de zinc manganésifères, notamment au Colorado et au Montana.

Les Etats-Unis importent, en outre, suivant les années, 200 à 250 000 t. de minerais étrangers.

C. — LE MANGANÈSE DANS LA NATURE

Diffusion du manganèse. — Le manganèse est un métal très répandu dans la nature. Sa proportion moyenne dans les roches est évaluée à 0,07 p. 100 : soit environ 70 fois moindre que celle du fer. Indépendamment des minerais proprement dits qui vont être énumérés, un très grand nombre d'espèces minérales peuvent contenir du protoxyde de manganèse substitué à d'autres bases bivalentes comme la magnésie, la chaux et la baryte; d'autres renferment du sesquioxyde remplaçant les sesquioxydes de fer et d'aluminium.

On voit ainsi le manganèse intervenir dans la composition des pyroxènes, péridots, micas, amphiboles, épidotes, chlorites. D'autre part, d'assez nombreuses magnétites (en Suède, au Canigou, à Mokta el Hadid, etc.), sont assez fortement manganésifères. La grande instabilité des sels de manganèse et les facilités de remise en mouvement que présente ce métal ont permis sa concentration secondaire dans des conditions qui vont être examinées.

D'autre part, le manganèse passe dans les organismes vivants, où l'on tend de plus en plus à considérer son rôle, non pas comme accidentel, mais comme nécessaire, si bien que l'on a été amené à employer le sulfate de manganèse comme engrais. Certains auteurs lui attribuent une influence sur le bouquet des vins.

Minerais de manganèse[1]. — Le manganèse se rapproche du fer et se différencie de la plupart des métaux qui vont être étudiés plus tard par le fait que ses minerais pratiques sont tous des oxydes ou des produits oxydés, comme le carbonate ou le silicate.

Mais, tandis que, pour le fer, cette sélection tient à des considérations industrielles, la pyrite de fer étant néanmoins un minéral des plus fréquents, pour le manganèse le choix n'est pas possible.

Le proto-sulfure de manganèse ou *alabandine*, le bisulfure ou *hauérite*, ne sont que des curiosités naturelles, et l'on est amené à se demander : ou bien si le sulfure de manganèse n'a joué aucun rôle dans la précipita-

[1] DUNNINGTON. *On the form. of the dep. of oxyd of Mang.* (Am. J. Sc., t. 36, p. 175).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tion de ce métal (ce qui distinguerait celui-ci des métaux du même groupe comme le fer et le nickel), ou si, dans les cas où il a commencé par se produire, ce sulfure instable a été l'objet d'une transformation ultérieure qui, même en profondeur, l'aurait fait disparaître. Le développement constant des produits d'altération manganésifères sur des affleurements de gîtes sulfurés pourrait donner quelque fondement à cette dernière hypothèse en faisant croire que le manganèse a pu exister d'abord combiné au soufre, tout au moins à l'état de sulfures complexes.

Les minerais oxydés sont : la *hausmannite* (Mn^3O^4), tenant 72 p. 100 de manganèse ; la *braunite* (Mn^2O^3) à 69,70 p. 100, minéral assez rare renfermant toujours de la silice et du titane ; l'*acerdèse* ou *manganite* ($Mn^2O^3H^2O$) ; la *pyrolusite* (MnO^2) à 63,22 p. 100, qui est la forme oxydée de beaucoup la plus fréquente ; les *psilomélanes* qui sont des bioxydes, souvent barytiques ; enfin les *wads*, qui comprennent des oxydes hydratés variables et mal définis.

Dans ces oxydes, souvent produits, comme nous le verrons, par une altération secondaire, il peut s'associer au manganèse d'autres corps, susceptibles, eux aussi, de se concentrer dans les mêmes réactions. Le principal de ceux-ci est le baryum. Un très grand nombre de manganèses oxydés et hydratés, formant le groupe des *psilomélanes*, sont en même temps barytiques (*romanéchite*, etc.), et peuvent contenir jusqu'à 17 p. 100 de baryte. Ces psilomélanes barytiques ne sont pas seulement des minéraux accidentels, mais de véritables minerais. On voit, dans les mêmes conditions superficielles, se développer l'*asbolane*, qui contient 19 à 30 d'oxyde de cobalt pour 30 à 40 d'oxydes manganésifères. Il peut également s'associer du cuivre au manganèse pour former les *lampadites*. Enfin le phosphore qui, nous l'avons vu, se concentre lui aussi dans les mêmes réactions de surface, peut intervenir dans des phosphates complexes. Gorgeu a retrouvé ce métalloïde d'une façon presque constante dans les pyrolusites : à l'état, ce semble, de combinaison originelle entre les deux acides phosphorique et manganeux.

Plus généralement, Phipson a montré comment un bioxyde de manganèse industriel contenait, en dehors du fer et de l'aluminium, du nickel et du cobalt, du baryum, du strontium et du calcium, de l'yttrium et du thallium en proportions sensibles, des traces de zinc et d'indium. Les propriétés acides du bioxyde hydraté expliquent ces associations.

L'association immédiate avec le zinc s'accuse dans la *franklinite* : spinelle de fer, zinc et manganèse, qui a pu être employé d'abord comme minerai de zinc, puis comme source de spiegel[1].

Une autre association, importante à signaler en raison de son extension industrielle, mais sans doute pour la plus grande partie secondaire, a développé la silice avec les oxydes de manganèse. Cette silice, que l'on peut rapprocher des silicifications si fréquemment observées dans les minerais de fer (Lac Supérieur, Privas, Carthagène, etc.), peut présenter plusieurs formes. Souvent les oxydes de manganèse sont accompagnés de produits siliceux rubanés à teintes vives et caractéristiques,

[1] D'après Gorgeu, le zinc se présente constamment dans les hausmanites d'Ilmenau en Thuringe.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rouges, jaunes ou brunes, qui sont, en réalité, des opales, mais auxquels nous conserverons le nom impropre de jaspes, sous lequel ils ont été habituellement désignés et décrits[1]. Dans bien d'autres cas également, il s'est produit des silicates de manganèse, où des silicates complexes dans lesquels intervient le manganèse[2]. Cette association peut s'expliquer par une communauté de propriétés ; le bioxyde hydraté se comporte comme un acide faible et tend, ainsi que la silice, à se combiner avec une base protoxyde.

Parmi les minerais de manganèse autres que les oxydes, le principal est le carbonate, ou *dialogite*, assez fréquent comme gangue filonienne de filons argentifères, parfois aussi développé en grandes masses, que leur aspect extérieur peu caractéristique a pu souvent faire méconnaître. On applique également les procédés électriques à des silicates, soit anhydres comme la *rhodonite* (Mangankiesel), soit hydratés comme la *friedélite*.

Cycles du manganèse. — Avec ce métal, dont, à notre avis, presque tous les gisements pratiques résultent d'une concentration secondaire, il est particulièrement intéressant d'étudier comment les composés manganésifères peuvent passer les uns aux autres par altération et remise en mouvement. Dans la pratique géologique, les réactions à la température ordinaire, en milieu aéré, aboutissent d'ordinaire à la production de pyrolusite, ou de psilomélane : oxydes surchargés d'oxygène, dont on connaît le rôle d'oxydants en chimie et que diverses réactions réductrices, moins habituelles à la superficie, tendent parfois à décomposer à leur tour.

Par exemple, la dialogite rose, exposée à l'air, brunit, puis noircit, donnant de la manganite et ensuite de la pyrolusite. De même, les silicates. De même encore, chacun connaît les dendrites de pyrolusite, qui se développent à la superficie des terrains les plus divers en pénétrant du dehors au dedans par leurs fissures[3], ou encore les nodules de pyrolusite qui apparaissent dans les terrains argileux superficiels. Rarement, on trouve en grandes masses, au lieu du bioxyde, le sesquioxyde, la braunite et seulement pour des gisements comme ceux de l'Inde ou de Saint-Marcel, en Piémont, où le métamorphisme semble être intervenu.

Bien qu'il soit toujours dangereux d'assimiler aux réactions du laboratoire les réactions lentes et en solutions diluées de la nature, ces caractères laisseraient supposer l'intervention du chlorure de manganèse plutôt que celle du carbonate. En effet, le carbonate de manganèse, au contact de l'eau aérée, donne toujours de la braunite et jamais un produit plus oxydé[4].

[1] Voir LACROIX. *Minéralogie de la France*, t. 3, p. 154.

[2] Gorgeu a reproduit la rhodonite au rouge cerise en faisant passer un courant d'hydrogène, ou de gaz carbonique saturé d'eau sur un mélange fondu de silice et de chlorure de manganèse. Quand le chlorure est plus abondant, on obtient un chlorosilicate, qui se décompose dans l'eau aérée en donnant de la silice et du bioxyde.

[3] Voir plus haut, t. 1, pages 150 et 200.

[4] Pour obtenir la pyrolusite au laboratoire, il faut griller de l'acerdèse ou chauffer du carbonate avec un oxydant comme le chlorate de potasse : en général, faire intervenir la chaleur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Au contraire, avec les chlorures, il existe une série de réactions, facilement réalisables dans les conditions naturelles, qui aboutissent à la précipitation de bioxyde. Si l'on se rappelle, en effet, que les eaux de surface contiennent presque constamment des chlorures alcalins et alcalino-terreux, que d'autre part, des acides peuvent y être mis en liberté, on sait qu'avec des réactions lentes et des dissolutions très diluées, le chlorure manganeux peut, dans ces conditions, absorber de l'acide chlorhydrique et du chlore et reprécipiter du bioxyde de manganèse. Cette réaction, qui a lieu même à l'abri des rayons solaires, est facilitée par ceux-ci, et la présence des chlorures complexes l'accélère[1].

D'autre part, le chlorure manganeux peut, dans des conditions différentes, produire d'autres minéraux manganésifères. Anhydre, dans un courant d'oxygène, il donne de la braunite ou de la hausmannite. Avec le bicarbonate de sodium, il produit du carbonate de manganèse. Ces réactions sont à retenir dans les produits du métamorphisme, où l'on explique aisément de la même manière la production de silicates, qui, ultérieurement, à l'air, peuvent donner du bioxyde.

Classification des gisements. Origine du manganèse[2]. Sa disparition en profondeur. — Pour donner une classification rationnelle des gisements d'un métal quelconque, il faut nécessairement adopter une hypothèse préliminaire sur leur formation et sur la manière dont y est arrivé le métal qui, pour nous, les caractérise. Cette hypothèse est particulièrement difficile dans le cas du manganèse et aucune des théories qui ont été émises à ce sujet ne nous satisfait pleinement. Boussingault, par exemple, avait supposé, d'une manière générale, que le manganèse provenait de sources ayant contenu des carbonates de manganèse et de fer en dissolution sous l'action de l'acide carbonique en excès : sources qui auraient précipité ces carbonates en perdant leur acide carbonique. Grüner avait admis la même explication pour les gîtes des Hautes-Pyrénées. Il est évident aujourd'hui que cette explication, peut-être vraie dans certains cas exceptionnels, est très insuffisante dans l'ensemble et,

[1] Dieulafait a beaucoup insisté autrefois (C. R., t. 100 et 101, 1885) sur les remises en mouvement du manganèse, en expliquant la prédominance de la pyrolusite par le fait que les combinaisons Mn avec S, avec O, avec CO^3, avec O^2, développent respectivement 22,6 cal.; 47,4; 54,2; 58,1.

[2] 1876. Phipson. (Bul. Soc. chim., 2e, t. 25, p. 434). — Dunnington. *On the formation of the deposits of oxyd of manganese* (The American J. of Sc., t. 36, p. 175. New-Haven). — 1882. Boussingaut. (Ann. Ch. Ph., 5e, t. 27, p. 289). — 1884. Mallet. *On lateritican manganese ore* (Records of the geological Survey of India, t. 16, p. 116. Calcutta). — 1884. Dieulafait. *Existence du manganèse à l'état de diffusion complète dans les marbres bleus de Carrare, de Paros et des Pyrénées* (C. R., t. 98, p. 589), — 1884. Dieulafait. *Manganèse dans les marbres cipolins* (C. R., t. 98, p. 634). — 1885. Dieulafait. *Origine et mode de formation des minerais de manganèse. Leur liaison au point de vue de l'origine avec la baryte qui les accompagne* (C. R., t. 100, p. 324). — 1885. Dieulafait. *Application des lois de la thermochimie aux phénomènes géologiques. Minerais de manganèse* (C. R., t. 100, p. 609, 644, 676). — 1888. Dunnington. (Am. J. Sc., 3e, t. 36, p. 175). — 1890. Penrose. *Manganese, its uses, ores and deposits* (Ann. Rep. of the geol. Survey of Arkansas). — 1893. Gorgeu. *Sur les oxydes de manganèse naturels* (Bul. Soc. Min., t. 15 et 16). — 1897. L. De Launay. *Contribution à l'étude des gîtes métallifères* (1 vol., extrait des Annales des Mines, p. 71 à 77).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pour comprendre la genèse des gîtes manganésifères, il nous faut procéder méthodiquement en utilisant des faits d'observation qui vont être décrits plus loin.

Le premier de ces faits, le plus général et le plus caractéristique à notre avis, par conséquent celui que l'on doit expliquer avant tout, est la disposition superficielle et la terminaison constante en profondeur des gîtes manganésifères utilisables. Il semble que, dans la grande majorité des cas, la forme primitive du dépôt manganésifère nous présente ce métal à l'état trop disséminé pour qu'on puisse en tirer parti, tandis qu'à la surface le travail chimique des eaux tend constamment à accroître la teneur en manganèse, comme il augmente celle en silice, en acide phosphorique ou en baryte au détriment de la chaux.

Il ne s'agit pas là seulement des dépôts remplissant des poches analogues à celles où l'on trouve les minerais de fer en grains, mais même de filons relativement profonds, comme ceux de Romanèche, où le manganèse, à l'état de bioxyde hydraté, souvent associé à la baryte[1], fait toujours assez rapidement place au fer quand on s'enfonce.

A quoi tient ce phénomène? On a quelquefois pensé à une influence datant de l'époque où le gisement s'est constitué. Comme nous l'avons fait maintes fois remarquer, cette idée nous paraît en contradiction absolue avec l'épaisseur de terrains que l'érosion a enlevée depuis l'époque où ces gisements ont une première fois cristallisé. Nous voyons, dans des transformations de ce genre, l'indice incontestable d'une remise en mouvement ultérieure, qui a pu se prolonger, dans le cas de Romanèche, jusqu'à une centaine de mètres de profondeur.

Il est alors permis de retenir une expérience faite par D. Chamussy, d'après laquelle, en liqueur acide de fer et de manganèse, la plus grande partie du fer commence à se déposer à l'état de sesquioxyde avant le bioxyde de manganèse. Si l'on assimile donc la zone d'un filon soumise à l'altération par les eaux superficielles avec une sorte de vasque, dans laquelle le fer et le manganèse commenceraient par entrer en dissolution pour se reprécipiter ensuite, on comprendrait que le fer se fût déposé d'abord au fond et le manganèse un peu plus tard, donc plus haut. Mais c'est encore là une explication trop simple ; car, dans de très nombreux gisements d'altération continentale, comme ceux du Nassau, du Périgord, etc., où le fer et le manganèse se sont concentrés côte à côte à l'état de limonite et de pyrolusite ou de psilomélane dans des poches d'argile ou de sable, on trouve aussi bien le manganèse sous le fer qu'au-dessus.

Il semble surtout que, des deux métaux associés, fer et manganèse, le fer ait été plus facilement entraîné au loin en dissolution, tandis que le manganèse dissous se reprécipitait presque sur place et que sa proportion relative s'accroissait ainsi avec les progrès de l'altération.

Quant au mécanisme de cette dissolution, nous avons déjà vu que le carbonate, invoqué par Boussingault, Grüner, Diculafait, etc., est peu soluble dans l'eau, même chargée d'acide carbonique (une partie dans 2 500 parties d'eau saturée d'acide carbonique), — ce qui serait, il est vrai, une

[1] Souvent (Gorgeu, *loc. cit.*, p. 147), on constate que la gangue de barytine et quartz a moulé postérieurement les oxydes de manganèse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

objection secondaire dans un phénomène géologique, — mais surtout que le carbonate, en s'oxydant au contact d'une eau aérée, donne toujours du sesquioxyde Mn^2O^3 et jamais un oxyde plus avancé. Nous avons été ainsi amenés à supposer l'intervention des chlorures divers, qui abondent dans les eaux de surface, et peut-être aussi celle d'autres acides, tels que l'acide sulfurique produit au contact des pyrites, les acides organiques, etc. Par exemple, le sulfate de bioxyde de manganèse ($SO^3\ MnO^2$. aq.), avec un excès d'eau, donne aussitôt un précipité de bioxyde.

Si nous essayons maintenant de remonter à la forme primitive des gisements de manganèse, il y a lieu de distinguer plusieurs cas.

Tout d'abord, le manganèse paraît pouvoir s'associer au fer et quelquefois au zinc dans de véritables réactions ignées. Les magnétites légèrement manganésifères de certains gisements de ségrégation, les franklinites des Etats-Unis seraient dans ce cas ; et la même intervention ignée expliquerait les faibles teneurs en manganèse que présentent un grand nombre de minéraux silicatés des roches, où le manganèse remplace partiellement d'autres corps.

Si nous passons au phénomène filonien, l'hypothèse la plus vraisemblable nous paraît être celle d'un apport à l'état de chloro-fluorures. Il faut remarquer, en effet, que la fluorine est fréquente dans les gisements où le manganèse est assez abondant pour avoir quelque persistance profonde, comme à Romanèche, et nous venons de dire que les combinaisons du groupe chloruré sont celles qui expliquent le mieux les phénomènes naturels : les carbonates, auxquels on aurait pu songer également, donnant de la braunite et non de la pyrolusite, et les sulfures étant vraiment trop exceptionnels pour qu'on puisse supposer leur rôle prédominant.

Il n'est cependant pas impossible que la précipitation du manganèse à l'état de sulfure ait pu se faire dans un précipité de sulfure complexe ; mais alors ce sulfure, si altérable, aurait été très anciennement déplacé le long du filon par la circulation profonde des eaux qui l'aurait peu à peu dissous et transporté vers la surface pour l'y accumuler à l'état de peroxyde ; peut-être aussi ce qu'il existe encore de manganèse dans de telles pyrites, où on ne songe pas généralement à le doser[1], a-t-il seul suffi pour constituer les gisements.

En admettant la prédominance des réactions chlorurées, les amas de substitution carbonatés que nous rencontrerons, les gangues de dialogite ou de rhodonite, etc., pourraient résulter de l'action du chlorure sur des bicarbonates, avec intervention possible des carbonates alcalins, qui nous semblent avoir eu une influence si essentielle dans tous les phénomènes un peu profonds.

Nous verrons que les gangues de silicate ou de carbonate de manganèse sont fréquentes dans certains filons de l'Ouest américain, là où ces filons s'enrichissent en argent par une réaction qui a bien des chances pour être secondaire. Les composés manganésifères ont pu être là déplacés et concentrés en même temps que l'argent.

Beaucoup de gisements à allure stratiforme nous paraissent avoir une

[1] Nous donnerons plus loin, p. 537, note 2 des analyses de pyrite tenant un peu de manganèse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

semblable origine, soit par une réaction purement superficielle et per descensum, soit par une réaction filonienne possible, parfois avec superposition de métamorphisme calorifique; et nous serions portés à expliquer ainsi les gîtes de braunite en lentilles dans le terrain primitif, avec les gangues de silicates divers, devenus fortement manganésifères, qui les accompagnent et qui, parfois, comme dans l'Inde, semblent l'origine de cette braunite.

D'autre part, une certaine proportion de manganèse a passé dans tous les sédiments, où elle s'est progressivement accrue ensuite dans les réactions d'altération continentale qui ont donné des gîtes en remplissage de poches du type Nassau, en même temps que se concentraient aussi le baryum, le cobalt, le phosphore et parfois le fer.

Enfin, nous aurons à rappeler en terminant les précipitations manganésifères des grandes profondeurs marines, auxquelles nous n'attribuerons cependant qu'une très faible part dans les gîtes à allure sédimentaire, qui, pour nous, sont à peu près tous des produits de substitution ultérieure plus ou moins ancienne.

En résumé, la classification que nous adopterons sera la suivante :

1° Gîtes de ségrégation ou de contact : magnétites manganésifères et franklinites. — Type de New-Jersey.

2° Oxydes de manganèse (pyrolusites et psilomélanes) dans les parties hautes de filons métallifères. — Types de Milos, du Laurion, de Romanèche, Saligny, etc.

3° Silicates et carbonates de manganèse des filons argentifères. — Types Montana, Nouvelle-Zélande, etc.

4° Amas de substitution carbonatés dans les calcaires ; — Type las Cabesses.

5° Gîtes de manganèse stratiformes, pouvant en grande partie résulter d'une substitution postérieure, avec filons-couches de contact, mais souvent expliqués aussi par des sédimentations contemporaines de la formation. — *a*) Type des lentilles de braunite associées aux gneiss ou schistes cristallins (Indes, Brésil, Saint-Marcel). — *b*) Type des silicates de manganèse interstratifiés dans des schistes (Merionetshire, Hautes-Pyrénées, Nouvelle-Zélande, Huelva). — *c*) Type oolithique à allure sédimentaire (Caucase, Nikopol, Ciudal Real). — *d*) Dépôts marins actuels.

6° Gisements d'altération continentale. — *a*) Poches superficielles dans des calcaires (Nassau, Dordogne, etc.) ; — *b*) latérites ; — *c*) minerais des marais.

1° MAGNÉTITES MANGANÉSIFÈRES ET FRANKLINITES

Généralités. — Nous nous contentons de rappeler la présence fréquente du manganèse dans les magnétites de ségrégation, où sa teneur reste, malgré tout, très faible.

Le manganèse s'y est concentré en même temps que le fer, le titane et le chrome, mais en plus faibles proportions [1]. A Routivara, on voit ainsi le

[1] Voir plus haut, t. 2, pages 310 à 317.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

protoxyde de manganèse croître de 0 à 0,28 et 0,45 quand on se rapproche de l'amas métallifère.

Dans les minerais de fer stratiformes de Scandinavie (magnétite et oligiste), dont l'origine, nous l'avons vu, est différente, le manganèse n'apparaît pour ainsi dire pas en milieu siliceux (Gellivara, Grängesberg), tandis qu'à Dannemora, en milieu calcaire, on a 2 p. 100 de protoxyde, avec développement de minéraux manganésifères proprement dits et skarn renfermant 8,46 de MnO. A Norberg, tandis que les minerais secs d'hématite à gangue quartzeuse tiennent seulement 0,30 p. 100 de MnO, les magnétites à gangue calcaire arrivent à 10 p. 100 (Klackberg) et il se développe de la knébélite.

A Mokta, on a de même 2,50 d'oxyde de manganèse dans la magnétite encaissée en terrains calcaires.

Franklinite de New-Jersey. — Le remarquable gisement de New-Jersey, sur lequel nous reviendrons au chapitre XLIV, à l'occasion du zinc[1], est connu pour le développement exceptionnel de la franklinite.

Les minerais forment là des masses dans un calcaire cristallin, probablement cambrien, reposant sur une roche qualifiée de gneiss, qui est peut-être une diorite et traversé par des filons intrusifs d'une pegmatite à allanite, zircon et orangite. On y trouve : d'abord, dans le calcaire, de grandes quantités de dialogite qui brunit et noircit à l'air ; puis le gisement proprement dit avec franklinite, zincite, willémite, blende, magnétite, etc., que recoupe obliquement une diabase. Le gisement principal, qui forme en coupe verticale une sorte de selle, a de 7 à 37 m. On l'exploite pour zinc (400 000 t. à 20 p. 100 en 1906) ; mais il contient aussi 12 p. 100 de manganèse.

Il semble y avoir eu, sur ce point, une venue filonienne de contact du type Banat, avec substitution d'oxyde de manganèse au calcaire dans les conditions où se produit également la substitution de la silice. Au lieu d'avoir seulement de la magnétite avec les sulfures métalliques, comme dans le type Banat ordinaire, il s'est produit ici d'autres spinelles manganésifères et zincifères. Peut-être également pourrait-on songer à un amas de substitution filonien du type Las Cabesses, ultérieurement métamorphisé par les intrusions ignées.

2° OXYDES DE MANGANÈSE, PYROLUSITE ET PSILOMÉLANE, DANS LES PARTIES HAUTES DE FILONS MÉTALLIFÈRES

Il est extrêmement fréquent de voir les oxydes de manganèse noirs se développer sur les affleurements de filons métallifères, où le même métal n'a pas attiré l'attention en profondeur[2]. Nous en décrirons d'abord quel-

[1] Voir les fig. 334 à 336 au t. 3.

[2] Cependant les analyses complètes d'amas pyriteux y reconnaissent fréquemment le manganèse. Ainsi les pyrites de Boccheggiano en Toscane tiennent 0,04 à 0,09 p. 100 de manganèse, avec du zinc, du nickel, ou cobalt, du cuivre, de l'étain et du bismuth (*Métallogénie de l'Italie*, p. 82). A San Domingos, on a 0,50 à 0,70 p. 100 de manganèse, avec du cuivre, du zinc et du plomb.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ques cas qu'il serait aisé de multiplier, mais dont aucun n'a une grande importance industrielle et nous terminerons par l'exemple plus important de Romanèche, où la forme profonde n'a pas été reconnue, mais où la disparition bien constatée du manganèse en profondeur laisse, avec beaucoup de vraisemblance, supposer une semblable concentration superficielle sur un filon métallifère dont la profondeur doit être pauvre en manganèse.

Nous rappelons, d'autre part, que des oxydes semblables sont parfois l'altération des silicates ou carbonates de manganèse formant plus bas la gangue du filon dans une zone qui a elle-même bien des chances pour avoir été remaniée. C'est un type qui sera étudié dans les paragraphes ultérieurs.

Laurion[1]. — Un exemple bien typique de concentration superficielle se présente au Laurion (Attique), que nous aurons à étudier longuement comme gisement de zinc et de plomb, et où, sur les affleurements, se sont développés des minerais de manganèse oxydés, qui ont pu donner lieu à une exploitation.

Au Nord du Laurion, on trouve, à la base du calcaire moyen ou dans le calcaire supérieur, des zones de carbonate de manganèse et de fer, parfois avec un peu de galène et de pyrite de fer disséminées, qui semblent participer à l'allure générale de filons-couches interstratifiés caractéristique de tout ce gisement. Ces zones, à Dascalio, sont alignées N. 23° E., parallèlement à un système de cassures important.

Par altération, ce carbonate jaunit, puis noircit à l'air en donnant de la pyrolusite en couches parfois épaisses, ou de la psilomélane secondaire remplissant des fractures transversales du calcaire que l'on peut assimiler aux griffons calaminaires. Ainsi, à Dipsilesa, on a trouvé une galerie de grotte horizontale, ayant au moins 150 m. de long et contenant, sur le sol, un précipité secondaire de boue à 32 p. 100 de manganèse et 16 de fer, avec concentration simultanée de phosphore ; le tout en couche horizontale, recouvert d'une croûte stalagmitique de carbonate de chaux.

Vers 1894, le Laurion français exportait en Belgique 60 000 t. d'un minerai ferro-manganésifère, légèrement plombeux et phosphoreux, à 15 ou 18 p. 100 de manganèse, qui passait au convertisseur basique. Cette extraction, comme dans tous les cas semblables, a été rapidement terminée.

Milos[2]. — De même à Milos, dans l'Archipel grec, il existe de curieux gisements d'argiles, bioxydes de manganèse et barytines argentifères, qui se sont évidemment développés sur les affleurements de veines filoniennes à sulfures complexes recoupant des trachytes, par une altération dont l'âge pourrait être relativement ancien.

Le seul gisement important en tant que manganèse est celui de Chalaka au Cap Vani (N. W. de l'île), où le minerai de manganèse, intercalé entre

[1] 1897. L. De Launay. *Contrib. à l'étude des gîtes métallifères* (Ann. d. M., p. 73).

[2] 1894. L. De Launay. *Les minerais d'argent de Milo* (Bull. Ann. d. M., sept., p. 5 à 10; *résumé dans Feder. Inst. of min. Eng.*, 1894, p. 538).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

la liparite et la barytine argentifère,contient des fossiles miocènes ; mais les oxydes de manganèse apparaissent en beaucoup d'autres points, notamment au N. E. à Pilonisi, Mirovilia, Rastana, etc.

Ile d'Elbe[1]. — A l'île d'Elbe, on a exploité un moment, à Capo Bianco, des limonites manganésifères à 6-10 p. 100 de manganèse et 30-40 p. 100 de fer, avec teneur notable en baryte, qui formaient superficiellement des filons-couches éparpillés dans les schistes et qui ont rapidement disparu en profondeur, avec apparition de pyrites. Comme dans le cas de Romanèche décrit plus loin, la présence d'un peu de mispickel avait donné de l'arsenic dans les minerais.

Toscane. — Des limonites manganésifères analogues se trouvent près des filons de sulfures complexes du *Mont Argentario* à Terrarossa en Toscane, intercalés en filons-couches entre les calcaires infraliasiques et les schistes permiens.

Saxe[2]. — En Saxe, de nombreux filons manganésifères associés aux formations ferrugineuses (pyrolusite, psilomélane, etc.). font sans doute partie du système métallifère général de la région. Quelques-uns d'entre eux, au Gottes Geschick, présentent l'association du manganèse avec le cobalt que nous avons si souvent à signaler et, en même temps, du bismuth.

Oural. — Dans l'Oural, à la mine de manganèse de *Sopolsky*[3], 1 kilomètre au Nord de Lébiéjaya, près du mont Vissokaya, le minerai forme des nids associés à des calcaires dévoniens au milieu de schistes. Ce minerai est en relation évidente avec la formation métallifère de magnétite et chalcopyrite exploitée au voisinage. On peut remarquer ici encore la concentration du cobalt avec le manganèse sous la forme de rabdionite (Asbolane), que nous venons de rencontrer en Saxe[4].

Mexique. — Dans les filons du Mexique, il arrive constamment de trouver à la surface l'argent natif ou les chlorures et bromures, associés avec des oxydes de manganèse, qui disparaissent complètement en profondeur comme le chlore et le brome eux-mêmes.

Afrique. — Quelques gisements africains sont intéressants par l'association du manganèse avec divers métaux sur des affleurements altérés. Ainsi, le bioxyde de manganèse est un des éléments importants de la couche minéralisée cuprifère du *Mindouli* (Niari) dans le *Congo français*, qui sera décrite au chapitre du cuivre. On a là, sur 1 à 2 m. de puissance, un minerai noirâtre renfermant 35 p. 100 de bioxyde de manganèse et 16 p. 100 d'oxyde de cuivre.

[1] L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 76, 104.

[2] Beck, t. I, p. 268.

[3] L. De Launay. *Richesses minérales de l'Asie*, p. 561.

[4] Les asbolanes, se sont, comme nous le verrons, développées en Nouvelle-Calédonie, à Vœl Hiraddog, à Madagascar, etc. Voir également plus haut, t. 2, p. 515.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A *Madagascar*, il existe du manganèse cobaltifère dans la vallée de la *Vato*, non loin de la région où se trouvent les hydrosilicates de nickel et les veines cuivreuses.

Au *Transvaal*, le niveau métallifère, qui existe fréquemment à la base de l'étage de la dolomie, dans l'étage de Lydenburg, est caractérisé par un filon-couche, où le manganèse abondant accompagne la pyrite et l'or (*Barretts Berlin, Spitzkop, etc.*).

En *Algérie*, le manganèse oxydé apparaît sur de nombreux affleurements de filons ferrifères, que nous avons eux-mêmes interprétés par une oxydation de sulfures. On a trouvé de l'acerdèse dans la limonite : à *Djebel-bou-Kérou* et à *Rar-el-Maden*, où le minerai de fer lui-même renferme une teneur moyenne de 7 p. 100 de manganèse, au *Djebel-bou-Kadra*, où la teneur en manganèse est de 3 p. 100, etc.

Des tentatives d'exploitation ont été faites sur un filon de quartz et rhodonite (superficiellement oxydée en pyrolusite), à environ 1 km. à l'Est du point culminant de *Bou-Zaréah* (Alger). Il existe aussi des variétés vertes de rhodonite (bustamite), avec de l'ilvaite, dans un filon d'oligiste du *cap Bou-Garoune*, près de Collo.

Enfin, dans la presqu'île du *Sinaï*, on retrouve l'association du manganèse oxydé avec le cuivre, dans les veines, encaissées par les grès nubiens.

Romanèche (Saône-et-Loire)[1]. — Les gisements de Romanèche, découverts en 1750, concédés en 1823, sont exploités depuis longtemps d'une façon continue, exceptionnelle pour les filons manganésifères ; mais leur production décline peu à peu de 11 000 t. vers 1900, à 4 539 t. en 1908 et 3 845 t. en 1909. Ils comprennent deux types de gisements distincts, quoique évidemment connexes : *a*) des filons et *b*) un amas de substitution formant filon-couche de contact.

a) *Filons.* — La région de Romanèche, qui forme la bordure Est du Plateau Central, comprend un grand nombre de filons métallifères, pour la plupart dirigés N. 33° W à N. 45° W, parallèlement à un système de failles-limites qui a affecté tous les terrains jusqu'au permien inclusivement : filons de galène, barytine et chalcopyrite des Ardillats (N. W. de Beaujeu) ; filons quartzo-barytiques, localement plombeux, de Chénelette, Valloste, la Croix-Rosier ; filon riche en fluorine de Saint-Etienne de Varenne, etc. Les filons de Romanèche, situés exactement sur la bordure des terrains primaires, sont perpendiculaires à ce faisceau, avec lequel ils semblent en relation, c'est-à-dire N. 45° E. Quelques kilomètres plus au Sud et toujours sur la même bordure, on retrouve du manganèse aux Espagnes, au Sud de Blacé ; puis des filons plombeux N. 45° W au Nord de Vienne. A Romanèche, il existe, comme le montre la fig. 267, deux filons N. E., ou plutôt

[1] Gisement visité en 1900. — Coll. Ecole des mines, n° 2379. — Feuille de Bourg. 1796. Dolomieu. (Journal des mines). — 1827. Bonnard. (Ann. des sc. nat., p. 285, et 1833. V. Leonhards Jahrb., p. 562). — 1838. Fournet. *Sur quelques circonst. de la cristallis. des filons* (Ann. des Elèves de Saint-Etienne). — 1857. Drouot. *Gîtes de manganèse de Romanèche* (1 vol. et atlas). — 1901. L. De Launay. (Congrès géologique de 1900, p. 27 à 33 avec bibl.). — 1910. Lacroix. *Minéral. de la France*, t. 4, p. 9, article psilomelane.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

un stockwerk de veines minces ayant cette direction générale et encaissées dans le granite, que relie un filon-faille oblique, dit grand filon, atteignant 20 m. de puissance et formant faille de contact entre le granite et le secondaire. Ce système est limité par deux grands filons de quartz stériles perpendiculaires. Il est accompagné, au N. E., par l'amas de substitution que nous étudierons ensuite. Son âge, que l'on croyait autrefois rhétien comme celui de divers filons de la région, pourrait fort bien être beaucoup plus récent. La fracture ayant rejoué postérieurement au remplissage, il est difficile de le définir.

J'ai donné autrefois quelques détails sur ces filons, où l'on a trouvé du

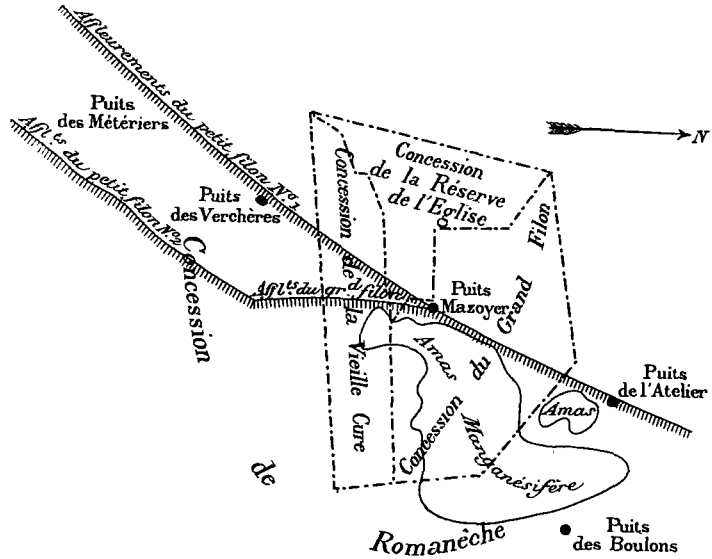


Fig. 267. — Croquis d'ensemble des mines de manganèse de Romanèche, d'après D. Chamussy. (L'horizontale est Nord-Sud.)

manganèse exploitable jusqu'à environ 80 m. de profondeur. On peut en retenir cette impression très nette que les filons, jusqu'à la profondeur maxima, représentent une forme altérée secondaire, où des géodes vides avec concrétions stalactiformes, où des croûtes parallèles laissant entre elles des espaces vides font partout penser à une circulation d'eaux descendantes, plutôt qu'à une incrustation filonienne primitive. Le filon n° 1, formé de psilomélane barytique, avec calcédoine, fluorine, barytine, etc., a au maximum 2 m. de large et se réduit parfois à une simple veine d'argile rouge, ou ailleurs se bifurque en englobant du granite, qui apparaît presque partout fortement altéré, kaolinisé et qui accuse donc, de son côté, les effets d'une circulation d'eau superficielle.

b) *Amas.* — L'examen de l'amas interstratifié confirme cette conclusion. Cet amas, disloqué par de petites failles parallèles aux filons, forme un gîte de contact remanié entre les grès rhétiens et le calcaire à gryphées très altéré qui leur est superposé. Nous voyons là, non pas, comme

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

on l'a dit autrefois, une formation sédimentaire, mais une intrusion postérieure, peut être contemporaine de la minéralisation filonienne, et ayant pu aussi être beaucoup plus récente.

En résumé, le gisement de Romanèche présente quelques faits très caractéristiques, de nature à éclairer sur son origine.

Tout d'abord, on y observe, quand on s'approfondit, un passage incontestable des oxydes manganésifères pauvres en fer à des hématites et gœthites à peine manganésifères. On a ainsi une première zone, où l'on exploite le manganèse, dans laquelle ce corps existe combiné à la baryte

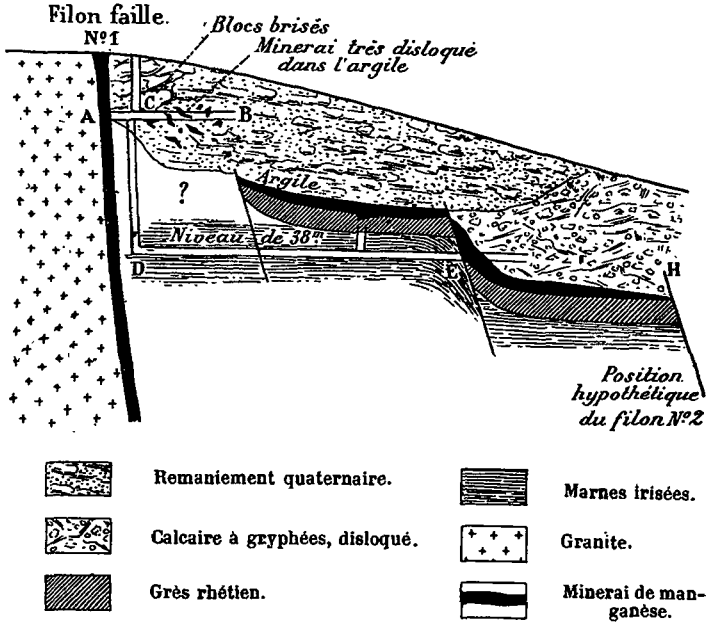


Fig. 268. — Coupe schématique du gisement de manganèse de Romanèche.

sous la forme de psilomélane (romanéchite) avec quartz et fluorine. Cette romanéchite est, comme nous venons de le dire, disposée d'ordinaire par concrétions superposées, mamelonnées, géodiques, offrant tous les caractères d'un minerai secondaire de remaniement dû à une remise en mouvement tout à fait superficielle. Les effets d'une telle remise en mouvement, qui a dû se continuer jusqu'à aujourd'hui, longtemps après la formation des psilomélanes, ont donné lieu de même à des recristallisations de fluorine dissoute. Quand on s'enfonce au contraire, tout en restant dans la zone altérée, dont le fond, à notre avis, a été à peine atteint par les travaux, on trouve la barytine individualisée en beaux cristaux côte à côte avec les oxydes de fer. En même temps, des traces d'arsenic, dont nous attribuons l'origine première à des mispickels profonds, donnent, dans la zone ferrifère, un arséniate ferro-calcique dit arsénio-sidérite, et, plus haut, dans la zone manganésifère, une teneur diffusée en arsenic pouvant atteindre 1,5 p. 100, sans formation de minéral individualisé.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

D'autre part, les mêmes caractères d'altération, qui se manifestent dans l'intérieur du filon, se retrouvent encore accentués dans les terrains encaissants. Quand le filon est dans le granite, celui-ci s'est kaolinisé, en même temps qu'on y observe des imprégnations de fluorine, de psilomélane, de barytine, etc.

Ailleurs, près de l'amas où le minerai s'est substitué au calcaire à gryphées, A. Lacroix a suivi la transformation du calcaire très fossilifère en romanéchite finement concrétionnée avec calcite. Dans un stade ultérieur, j'ai pu voir ce calcaire encaissant passer, d'abord à de l'argile contenant encore ses fossiles presque intacts, puis à l'argile rouge ordinaire des décalcifications.

Quelle est la forme profonde du gisement, il est difficile de le dire ; mais il ne serait nullement étonnant qu'on rencontrât, en descendant assez, un filon sulfuré complexe. Quant à l'âge de cette transformation, qui a déterminé la concentration manganésifère, nous ne possédons pas non plus le moyen de le fixer. La profondeur, jusqu'à laquelle ces phénomènes se continuent, pourrait donner à croire qu'ils ont commencé à une époque déjà ancienne, où le relief du sol était différent du relief actuel et où la position du niveau hydrostatique n'était pas la même.

Plateau Central et Morvan. — On peut rapprocher du type filonien de Romanèche un grand nombre de filons de quartz et pyrolusite, généralement sans importance industrielle, qu'on rencontre dans le Plateau Central et le Morvan.

C'est ainsi qu'aux *Gouttes-Pommiers*, près Saligny (Allier)[1], une concession, abandonnée depuis quelques années, porte sur un filon de pyrolusite avec opale jaspée rouge et jaune, traversant les schistes mâclifères de Saint-Léon et des marbres primaires.

Ce filon, très continu en tant que fracture, sur près de 4 km., est généralement quartzeux ; mais, au voisinage des affleurements, le manganèse y apparaît, par endroits, en amas coniques de psilomélane, localisés au contact du quartz et du calcaire et toujours terminés en profondeur. Là encore, ce manganèse provient, suivant toutes vraisemblances, d'un remplissage filonien complexe à sulfures et peut-être carbonates, associé plus bas au quartz.

Aux affleurements, des sables à cailloux terrains, qui recouvrent la région, contenaient des concentrations de fer et de manganèse qui ont été autrefois exploitées.

Près de *Luzy* (Nièvre), on a demandé, en 1886, la concession d'un filon de pyrolusite de 0 m. 40 de large traversant le granite.

3° SILICATE ET CARBONATE DE MANGANÈSE DES FILONS ARGENTIFÈRES

Il est intéressant de grouper ici rapidement les cas nombreux où l'on a reconnu l'abondance du silicate ou du carbonate de manganèse dans des

[1] Gisement visité de 1884 à 1889. — 1882. Chamussy. *Gites de manganèse de Saligny* (Allier). — 1910. Lacroix. *Minéralogie de la France*, t. 4, p. 15.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

filons métallifères et, spécialement, dans des filons argentifères : soit que cette dialogite ait été d'origine primitive, soit qu'il y ait eu concentration secondaire simultanée du manganèse et de l'argent. Les exemples en sont particulièrements nombreux au Montana et au Colorado, où ils fournissent des minerais recherchés comme fondants.

Au *Montana*, les filons argentifères sont souvent caractérisés par une gangue de quartz et de silicate de manganèse (rhodocrosite) qui, aux affleurements, donne des oxydes noirs. Notamment à la mine Bluebird, cette gangue manganésifère était tout à fait prépondérante dans le remplissage. A Lexington, un filon nettement concrétionné renfermait, au centre, une veine de quartz géodique et, des deux côtés, de la rhodonite, avec bandes de blende.

Au filon d'*Austin*, district de Reese River en Nevada, les minerais d'argent proprement dits étaient englobés dans une gangue de quartz avec silicates de manganèse.

En *Nouvelle Zélande*[1], district de Thames, on trouve de même, au filon City of Dunedin de la mine Tararu, des noyaux ou traînées de rhodonite dans un filon de quartz, et cette rhodonite renferme de l'or très finement divisé avec un peu de galène.

On connaît un fait analogue à *Schemnitz*, en *Hongrie*, où, dans le Spitaler Gang, on a parfois trouvé (Max Schacht) le minerai d'argent à la surface de bandes de quartz hachées par des lames de manganèse carbonaté rose. Le Brenner Gang renfermait de même de la calcite manganésifère.

Au *Japon* également, la mine d'argent de Shika Ribertsu (Hokkaido) comprend des filons de 1 m. 60 à 10 m., encaissés dans un tuf andésitique, dont les affleurements présentaient la même association des minerais d'argent sulfurés avec du carbonate de manganèse. Ces minerais, accompagnés des sulfures complexes, galène, blende, pyrite, dont ils dérivent, sont en lentilles dans une gangue quartzeuse.

4° AMAS DE SUBSTITUTION DANS LES CALCAIRES

Las Cabesses (Ariège)[2]. — Le gisement de Las Cabesses, situé à 15 km. S.-E de Saint-Girons, que j'ai eu autrefois l'occasion d'étudier en détail, est un des plus beaux types connus d'amas manganésifères substitués à des calcaires. Il représente, pour le manganèse, ce que sont, pour d'autres métaux, les amas de sidérose, de calamine ou même de cérusite. Concédé en 1890, il a donné lieu, pendant quelques années, à une forte extraction : 16 148 t. en 1892 ; 30 305 t. en 1893 ; 22 255 t. en 1895. A ce moment, le rendement net était de 2 000 t. environ par mètre d'approfondissement. Puis l'extraction a diminué et a été un certain temps interrompue. En 1908, on a produit environ 6 000 t. ; en 1909, 1 400 t.

[1] Voir 1894. L. De Launay. *Contrib. à l'élude des gîtes métall.*, p. 76.

[2] Gisement visité en 1895. Feuille de Foix. — La même zone de griottes renferme, à las Cabesses même, les phosphates noirs dont il a été question dans un chapitre précédent (t. 1, page 666 et fig. 100).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ce groupe de gisements est exclusivement subordonné à une bande Est-Ouest de calcaires griottes dévoniens, enclavés entre des schistes et

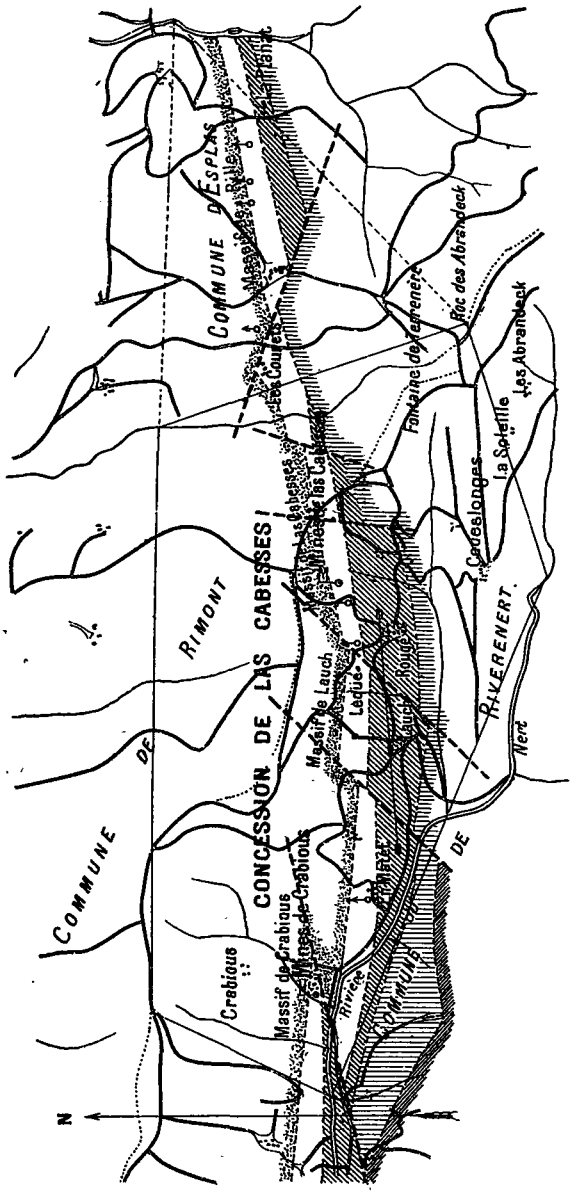


Fig. 269. — Esquisse géologique de la région manganésifère de Las Cabesses. Échelle au 1/40 000e.

calschistes au mur et d'autres schistes plus gréseux, classés dans le carbonifère au toit (fig. 269). Dans cette bande, disloquée par de nombreux accidents, l'imprégnation manganésifère est directement en rapport : d'abord, avec le système des diaclases, à partir desquelles s'est faite la substitu-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

tion, ensuite avec la structure physique de la griotte. Celle-ci est devenue manganésifère seulement là où elle était poreuse et tendre, tandis que ses parties dures ont entièrement échappé à l'imprégnation carbonatée. La disposition irrégulière des lentilles de griotte tendre dans la griotte dure a contribué à l'irrégularité du gîte.

Deux amas manganésifères principaux ont été rencontrés : celui de Crabious à l'Ouest, qui a été rapidement épuisé et celui de las Cabesses à l'Est, tous deux semblant situés sur une même fracture. Il existe, en outre, en divers points de la même zone, des affleurements manganésifères sans valeur. Il est à remarquer que l'on connaît, dans les Pyrénées, deux

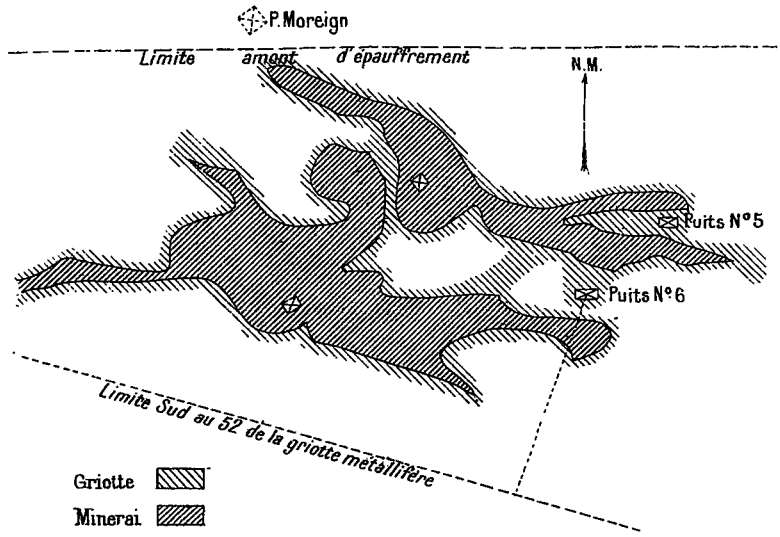


Fig. 270. — Plan au niveau 18 de l'amas manganésifère de Las Cabesses.

autres gisements de manganèse carbonaté, celui de Caunes près Carcassonne[1], et celui d'Argut près Saint-Béat, qui sont également dans le calcaire griotte, tandis qu'ailleurs où l'infiltration a porté sur des schistes, comme au Louron et dans la vallée d'Aure, les minerais sont silicatés.

Cette localisation remarquable dans la griotte aurait pu faire penser, sinon à une formation sédimentaire contemporaine, qui est insoutenable, du moins à une sécrétion latérale du manganèse tout d'abord disséminé dans la griotte. En fait, de nombreuses analyses que j'ai fait faire de ces griottes y ont rencontré au maximum et rarement des teneurs de 1 à 2 p. 100 de manganèse irrégulièrement réparties[2], qui ne paraissent pas pouvoir expliquer une formation aussi importante; et l'origine de celle-ci doit donc être filonienne.

[1] Le gisement de Caunes, analogue à las Cabesses mais très mince, avait commencé à la surface par de la pyrolusite que l'on vendait cher pour les piles électriques. Plus bas, on a trouvé du carbonate, dont on extrayait 4 à 500 tonnes par an vers 1895.

[2] La couleur de la griotte ne fait nullement prévoir la teneur en manganèse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

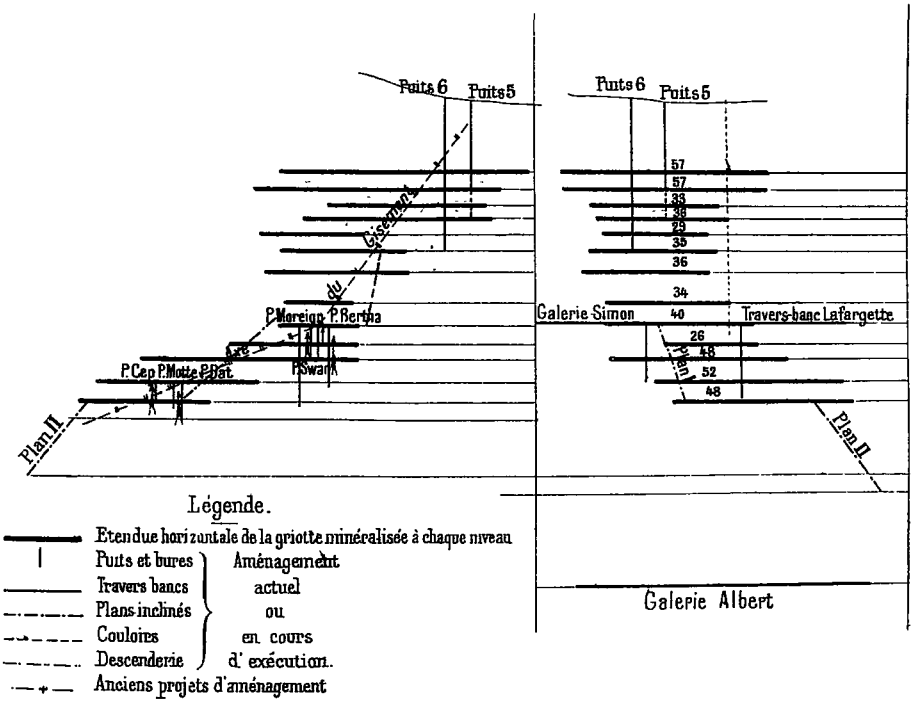


Fig. 271. — Coupes verticales du gîte de Las Cabesses montrant l'étendue minéralisée aux divers niveaux : à gauche sur un plan N 70° W, à droite sur un plan N.-S.

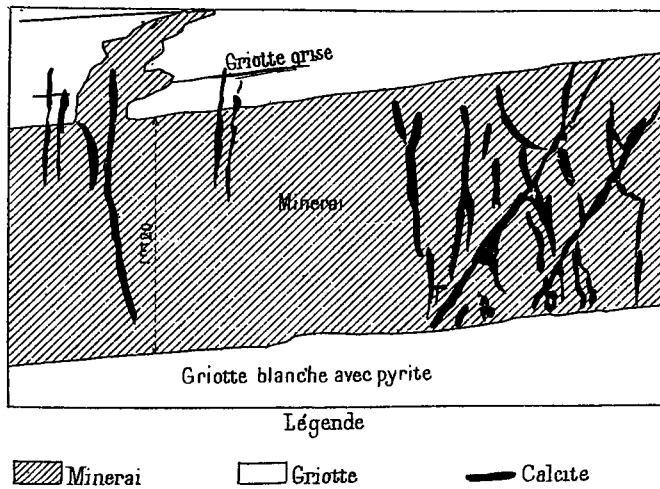


Fig. 272. — Projection verticale au 1/40e d'une paroi de galerie dans la mine de Las Cabesses (niveau 67).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La minéralisation de Las Cabesses est localisée dans une zone ou colonne de broyage comprise entre deux fractures principales, l'une au Sud bien nette[1], l'autre au Nord moins continue et plus hypothétique, qui ne semblent pas, comme on l'a pensé, représenter des failles postérieures au gîte, mais qui ont dû bien plutôt précéder la minéralisation, sauf à avoir localement rejoué ensuite (fig. 100, 269 et 270). Les coupes transversales (271) montrent, aux divers niveaux jusqu'à 72 m., la largeur des zones exploitables : largeur variant de 16 à 57 m. suivant les étages. La longueur atteint 70 m., ce qui fait 2 800 m² de section, avec une profondeur pouvant atteindre 100 à 120 m. Mais il ne faudrait pas croire que

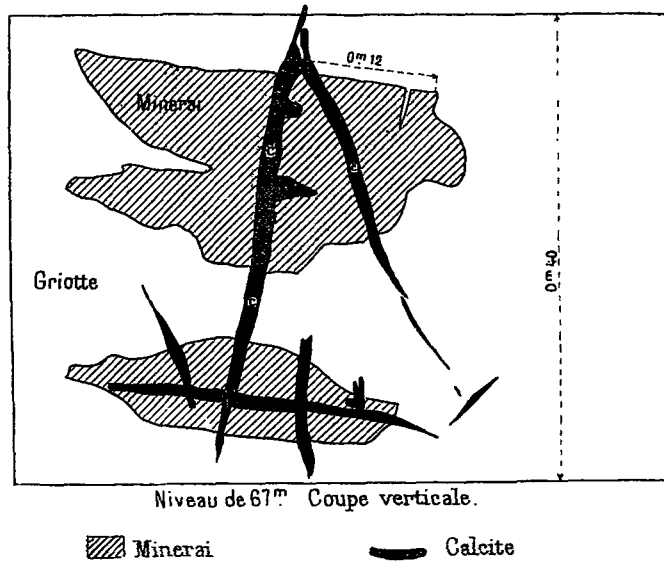


Fig. 273. — Projection verticale au 1/7e d'une paroi de galerie au niveau 67 de la mine de Las Cabesses.

toute la zone ainsi limitée soit entièrement minéralisée. La coupe au niveau 18 (fig. 270) montre déjà l'allure madréporique du minerai englobant des massifs stériles; mais ce caractère apparaît encore bien plus dans le détail. Tantôt le minerai passe progressivement au marbre encaissant, par des carbonates à faible teneur, comparables aux calcaires ferrifères de Rancié[2], aux rohwand de Styrie; tantôt la limite entre les deux se fait brusquement suivant une cassure. Deux croquis ci-joints (fig. 272 et 273) mettent en évidence la disposition des amas manganésifères, avec celle de veines de calcite secondaire ayant au plus quelques centimètres qui traversent à la fois calcaire et griotte, parfois mais pas toujours transformées en dialogite rose quand elles entrent dans le minerai[3].

[1] L'approche de cette faille est marquée, dans la galerie Simon, par de fortes venues d'eau, dont le percement a tari une source superficielle située à grande distance.

[2] Voir plus haut, tome 2, pages 384 et 398.

[3] Il arrive de trouver une veine de calcite passant, suivant son axe, à la dialogite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Quelques traces d'or et d'argent ont été rencontrées un peu partout dans le minerai, surtout au niveau 57, sur le prolongement d'un puissant filon quartzeux, connu quelques centaines de mètres au Sud de la mine et dont l'affleurement est sillonné par des veines de manganèse oxydé ferrugineux, accusant quelques grammes d'or à la tonne. La pyrite, parfois cuivreuse, est fréquente dans la griotte encaissante, mais ne paraît pas avoir de relations avec le gîte.

Le système des diaclases minéralisées semble, dans les niveaux supérieurs (18 m.), dirigé N.70°W, avec un pendage vertical. Plus bas, il passe à N.30°W et devient presque horizontal, avec zone intermédiaire où les deux systèmes se superposent, aux niveaux de 62 m. et de 67 m.

Il faut ajouter que, dans ce gisement situé à 900 m. d'altitude, soit 2 à 300 m. au-dessus de la vallée, les traces d'altération récente sont fré-

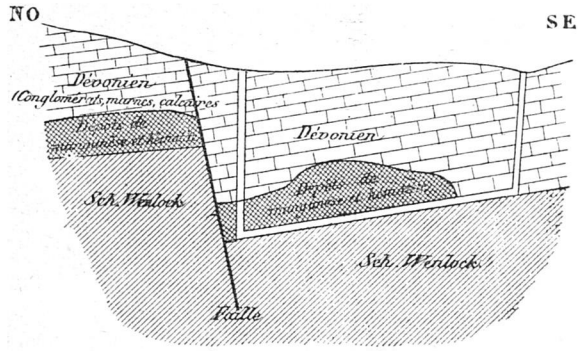


Fig. 274. — Coupe théorique de la mine de manganèse et hématite de Nantuchat près Abergele (North Wales).

quentes. Vers les affleurements, on a trouvé de véritables grottes avec minerais oxydés et ce sont ces pyrolusites qui ont donné la première idée de l'exploitation. A 30 m. de profondeur, ces bioxydes ont disparu ; mais le carbonate a subi un commencement de peroxydation, qu'accusent à la fois sa teinte brune et l'élévation locale de sa teneur.

Exploitation. — Le prix de revient moyen de l'exploitation était de 15 francs; plus 4 fr. de transport à Saint-Girons, 12 fr. de chemin de fer et de fret, 4 fr. de frais généraux : soit au total, 35 fr. Les minerais bruts avaient une teneur de 40 à 50 p. 100 de manganèse, avec 5 à 8 de silice. Les analyses n'y signalent pas la baryte.

Pays de Galles (Abergele, Barmouth, Harlech) [1]. — On exploite, dans le North Wales, près d'*Abergele*, des amas de substitution développés à la base du calcaire dévonien, au-dessus des schistes siluriens de Wenloch,

[1] Voir une carte, figure 98, t. 1, p. 662, au chapitre du phosphore. — De la Bèche. *Geol. report of Cornawall nd Devon*, p. 609. — 1887. Ed. Halse. *The occurrence of Manganese ore in the cambrian Rocks of Merionethshire* (Tr. North Eng. I. min. a. mech. Engl., t. 36, p. 103. Newcastle upon Tyne). — 1886 et 1887. *Mineral Resources* des Etats-Unis.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans des conditions qui rappellent les amas calaminaires de contact (fig. 274). Le manganèse y est mélangé à de l'hématite.

Plus au Sud, il existe, à l'Ouest du Merionethshire, vers et *Barmouth Harlech*, des gisements de carbonate de manganèse à allure problématique.

Les terrains encaissants y sont des quartzites et des grès gris, parfois feldspathiques. Le minerai forme trois veines, dont l'une, dirigée N.-S., a 3 km. de long, les deux autres, plus au Nord, 1 500 m. De 1835 à 1840, on avait exploité, aux affleurements, de l'oxyde noir de manganèse. En 1855, Halse reconnut que les veines provenaient de l'altération du carbonate de manganèse, minerai dont on ne connaissait jusque là d'autre gisement exploitable que dans le silurien supérieur de Chevron, Belgique : las Cabesses n'étant pas encore découvert. En 1886, l'exploitation a été reprise en grand pendant quelques années.

A la mine de Harlech, le minerai est composé de bancs zonés gris, jaunes, bruns, formant, au milieu de quartzites, une veine d'environ 0,60 m. A la mine Moelfre, l'épaisseur est plus faible, le gisement extrêmement contourné. A la mine Hafodty, la teneur est de 30 à 32 de manganèse avec 18 à 19 p. 100 de silice.

Långban (Wermland)[1]. — La substitution postérieure à une dolomie ou calcaire dolomitisé semble également très vraisemblable dans le cas du gîte de Långban, qui a été autrefois décrit, ainsi que la plupart des gisements semblables, comme une intercalation sédimentaire.

Il y a là une masse de dolomie dans un gneiss à biotite, et, dans cette masse, des amas manganésifères contenant de la rhodonite, des silicates manganésifères divers (péridot, pyroxène, etc.) constituant un skarn, analogue à celui qui accompagne les minerais de fer scandinaves dans les calcaires, enfin les minerais proprement dits, braunite et hausmannite, accompagnés d'oligiste. Une étude de Tiberg a attribué la production du manganèse à l'action de contact d'une diabase.

5° GISEMENTS DE MANGANÈSE STRATIFORMES

Parmi les gisements qui vont être décrits ici, beaucoup, il faut le dire aussitôt, ne sont pas réellement sédimentaires, c'est-à-dire à peu près contemporains des sédiments au milieu desquels on les rencontre[2]; et, dans ceux mêmes pour lesquels cette sorte de contemporanéité est admissible ou probable, des transformations par remise en mouvement ont généralement eu lieu. D'autres échappent peut-être à la première observation. Les dépôts marins actuels que nous décrirons en terminant montrent qu'une formation sédimentaire de manganèse est possible et a dû être déjà anciennement réalisée, comme elle l'est aujourd'hui ; mais c'est, d'ordinaire, dans de grandes profondeurs marines, dont nous ne rencontrons pas souvent les dépôts dans les terrains géologiques, rarement plus près des rivages. On

[1] 1877. Törnebohm. *Ofverblick ofver Bergbyggnaden inom Filipstads Bergslag* (avec carte). — 1901. Tiberg. *Vermlandska Bergsmannaforen.* — Beck, *loc. cit.* (I, 143).

[2] Voir la discussion de cette question pour le fer, tome 2, p. 417 à 420.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

doit faire bien des restrictions sur la théorie, d'après laquelle certains dépôts de manganèse associés à des couches à radiolaires, comme ceux de Bosnie et de l'Oural, correspondraient à ces conditions actuelles. Ailleurs, comme au Caucase, le caractère stratifié semblerait, au premier abord, incontestable, s'il ne fallait se souvenir des observations développées plus haut pour les sédiments ferrifères également oolithiques, dans lesquels on a reconnu des indices de substitution. Enfin des gisements, comme ceux de Ciudad Real, résultent d'un remaniement fluviatile appliqué à des produits de décomposition basaltique. Il a paru difficile d'établir une démarcation entre les gisements réellement sédimentaires et d'autres également interstratifiés, pour lesquels l'idée d'une substitution ou d'une intrusion ultérieure est plus ou moins vraisemblable. Dans ce doute, nous nous contenterons donc de décrire cette série de gisements en suivant l'ordre stratigraphique des terrains encaissants, comme s'ils en étaient réellement dépendants, et nous aurons ainsi trois catégories principales :

a) *Lentilles de silicates et oxydes intercalées dans les gneiss* ou *terrains cristallophylliens*, aux Indes, au Brésil, à Saint-Marcel-en-Piémont, etc.

b) *Bancs de silicate de manganèse dans les terrains primaires métamorphiques* (Hautes-Pyrénées, Nouvelle-Zélande, Huelva).

c) *Couches sédimentaires non métamorphiques de manganèse oxydé* (Tchiatoura, Nikopol, Ciudad Réal).

d) *Dépôts marins actuels de manganèse.*

Comme nous venons de l'indiquer, pour beaucoup de ces gisements nous croirions volontiers à une substitution ultérieure exercée sur des bancs calcaires : substitution qui a dû passer parfois par la forme instable du carbonate de manganèse. Après quoi, ce carbonate a pu, ou directement s'oxyder (souvent avec formation contiguë d'opales rouges, jaunes et brunes, improprement appelées jaspes), souvent aussi, dans des conditions différentes, donner des silicates de manganèse, dont les affleurements présentent eux aussi des oxydes. Il semble, dans d'autres cas, que le silicate de manganèse se soit directement substitué aux calcaires sans intervention de carbonate. Nous nous attacherons à mettre en évidence le rôle ancien des calcaires dans ces formations. Quant à l'origine du manganèse ainsi introduit, elle nous semble, suivant les cas, pouvoir être profonde ou superficielle : dans ce dernier cas, par concentration secondaire.

a) LENTILLES INTERCALÉES DANS LES SCHISTES, GNEISS, ETC.

Les lentilles oxydées des terrains cristallophylliens forment un type également développé dans les deux grandes plates-formes homologues des Indes et du Brésil. On en retrouve des équivalents plus locaux dans certains noyaux de gneiss ramenés au jour sur des chaînes plus récentes, à Saint-Marcel-en-Piémont, etc.

Indes[1]. — Les gisements de manganèse indous ont pris actuellement la

[1] 1841-1882. TREMENHEERE, G.-B. *Report on the Manganese of the Mergui province* (Journ. As. Soc. Beng., t. 10, p. 852-853 (1841); Cal. jour. Nat. Hist., t. 3, p. 55-66 (1843); Sel. Rec. Beng. Gov., t. 6, p. 12-13 (1852); Burma, p. 356-357 (1882). — 1874. HUGHES,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

première place dans la production mondiale. Avant 1899, la production, très faible, était fournie principalement par le district de Vizianagram, un peu au Nord de l'embouchure du Godavéry, dans la présidence de Madras. Les gisements, qui sont, depuis 1899, les principaux, se trouvent, au contraire, loin dans l'intérieur, dans les provinces centrales, à 8 ou 900 km. de chemin de fer de la côte, notamment à *Ramtek*, à 30 km. Nord-Est de Nagpur (21° 24° ; 79° 21°) ; puis, un peu plus au Nord-Est, à *Balaghat* et *Behir* (Ukua) ; enfin, sur le bassin de la Narbada, à *Chindwara*, entre Nagpur et Japalpur. Comme gisements de moindre importance, mais susceptibles d'avenir, on mentionne encore ceux qui, vers 1902, ont été découverts, au Sud de Bombay, à *Mahabaleshwar* et *Satara*, puis entre *Dharwar* et *Belgaoun*, au Sud de la grande coulée de trapp, dans des conditions industrielles beaucoup plus favorables à cause du voisinage de la côte. La compagnie de *Sandur* travaille dans le district de Bellary, au Nord de la présidence de Madras. On a fait également quelques recherches au Nord-Est de l'Inde dans le Gwalior et en Birmanie.

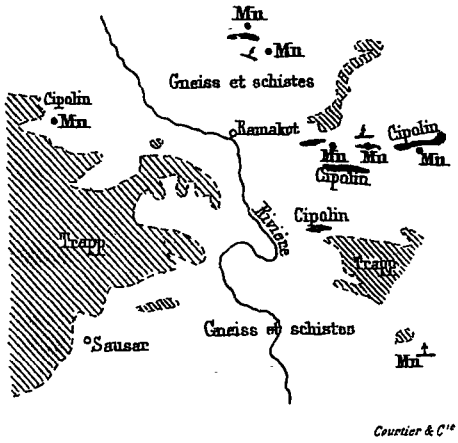


Fig. 275. — Carte des gîtes de manganèse de Chindwara. Echelle au 1/290 000e.

Ces gisements peuvent être divisés en deux groupes : interstratifications dans les schistes métamorphiques, formées de rhodonite et braunite, qui constituent la presque totalité des minerais utilisés ; concentrations nodulaires dans les latérites, dont nous parlerons plus tard.

La première catégorie fournit les gisements les plus riches. Par exemple, les gîtes de *Chindwara*, au N.-E. de Nagpur (Provinces centrales) nous sont bien connus par une description de Fermor (fig. 275). Ils sont situés dans une région de gneiss et schistes cristallins, immédiatement cachée au voisinage par des laves basaltiques du Dekan : formation éruptive, dont on trouve des

T.-W.-H. *Manganese ore in the Wardha Coal-field* (Rec. India, t. 7, p. 125-126). — 1879. MALLET, F.-R. *On Braunite, with Rhodonite, from near Nagpur* (Rec. Geol. Surv. Ind., t. 12, p. 73-74). — 1881. BALL. *Economic Geology*, p. 326-332. — 1883. MALLET, F.-R. *On Lateritic and other Manganese ores at Gosalpur, Jabalpur District* (Rec. Geoll. Surv. Ind., t. 16, p. 116-118). — 1888 et 1890. *The Manganese ores of Jabalpur* (Rec. India, 21 et 23). — 1905. HOLLAND. *Mineral production of India* (Rec. India, t. 32, p. 55-63). — 1905. L. DEMARET. *Les principaux gisements des minerais de manganèse du monde* (Ann. mines Belgique, t. 10). — 1906. L. LEIGH FERMOR. *On the petrology and Manganese Ore deposits of the Sausar Tahsil, Chindwara district. Central Province* (Rec. India, t. 33, p. 159-221) (sur le manganèse, p. 207 à 214). — 1906. W. VENATOR. *Die Deckung des Bedarfes an Manganerzen* (Stahl und Eisen, fasc. 2-4, avec phot.). — 1906. VOGT. *Ueber Manganwiesenerz und über das Verhältnis zwischen Eisen und Mangan in den See und Wiesenerzen* (Z. f. pr. G., juil. p. 217 à 233). — 1909. L. SEIGH FERMOR. *The manganese ore deposits of India* (Mem. India, 37 ; t. 3 parties (introd. and mineralogy, geology, economic and mining).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lambeaux auprès de tous les gisements manganésifères et qui certainement a recouvert autrefois cette région tout entière.

Dans ces terrains métamorphiques sont intercalées des lentilles interstratifiées de roches manganésifères, qui, sous leur forme utilisée, contiennent, avant tout, en association avec du quartz, de la braunite, c'est-à-dire un oxyde incomplet de manganèse et un peu de pyrolusite ou de psilomélane, mais dans lesquelles ces oxydes paraissent certainement dus à une altération très ancienne[1] de minéraux silicatés, tels que le grenat spessartine et, accessoirement, la rhodonite. Tous les observateurs sont d'accord pour faire dériver les gisements de manganèse de la spessartine, qui, elle-même, peut, suivant les points, être plus ou moins ferrifère ou manganésifère et prendre, en conséquence, une couleur variable[2]. La plupart de ces gisements de manganèse sont, de plus, en relation immédiate avec des bancs de calcaire métamorphique et de calciphyre, pouvant passer, par métamorphisme, à des roches pyroxéniques ou à des gneiss grenatifères. L'idée la plus simple (sinon la plus exacte) est d'ametttre un métamorphisme igné de profondeur, qui se serait exercé sur d'anciens sédiments contenant des couches déjà manganésifères, à la façon des dépôts caucasiens, avec action latérale sur les terrains encaissants. D'où production de silicates, ultérieurement peroxydés quand ils se sont trouvés ramenés au voisinage du jour. Le développement du sesquioxyde, et non du bioxyde, l'existence de combinaisons silicatées sont en faveur d'une intervention ignée, tandis que, dans les réactions superficielles, la silice a toujours une tendance à se libérer de ses combinaisons.

On peut, cependant, songer aussi à une introduction ultérieure de sels manganésifères, qui aurait, soit accompagné le métamorphisme (général ou local), soit même succédé à de premières réactions de ce genre, comme une imprégnation aqueuse ayant, par exemple, pour origine, le manganèse disséminé dans un manteau de terrains et roches aujourd'hui disparus par érosion.

Pratiquement, les minerais exploités tiennent, en moyenne, 53 p. 100 de manganèse, 5 à 6 p. 100 de fer, 6 à 10 p. 100 de silice, rarement 1 p. 100 de baryte. Malgré leur réputation industrielle de pureté, il n'est pas rare d'y trouver, dans des gisements laissés pour cela de côté, de 1 à 3 p. 1.000 (et même plus) de phosphore.

Le district, industriellement plus important, de *Ramtek* près *Nagpur*, donne lieu à des observations semblables. On a là encore des lentilles de quartz et braunite, procédant de gneiss à spessartine et, accessoirement, à rhodonite.

Quand on y passe de la zone altérée à la zone inaltérée, soit en direction, soit en inclinaison, on voit apparaître la rhodonite et le grenat manganésifère, avec du quartz. Certaines veines minéralisées ont, avec plus ou moins de continuité dans le détail, une grande extension : 2.800 m. près de Balaghat, et même 9 km. à Thirori dans le même district de Balaghat, 2 km. à Manegaon dans le district de Nagpur. L'épaisseur peut atteindre 30 m. Nulle part, on n'a fait de travaux de profondeur; mais il est fort

[1] Pour Fermor, elle serait d'âge archéen (*loc. cit.*, p. 175).

[2] Des pegmatites à spessartine peuvent, à Alesur, recouper les gisements.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

probable qu'en s'enfonçant, on observerait, comme pour la plupart des gîtes de manganèse, un appauvrissement.

Dans ce même district, où le manganèse forme ainsi, au milieu des schistes et quarztites, des veines de silicates manganésifères avec transformation en braunite, on retrouve, comme à Chindwara, des minerais associés à des calcaires. Dans ce cas, il s'est souvent produit une oxydation plus complète, donnant de la pyrolusite. Souvent même, ces nodules de pyrolusite ont été remaniés par les eaux superficielles et concentrés dans des cavités, ou crevasses, du terrain.

Les mêmes conditions de gisement qu'à Nagpur se retrouvent encore dans le district de *Vizianagram*, au Nord de l'embouchure du Godavéry, avec cette circonstance, intéressante à noter pour notre explication théorique, que les roches encaissantes sont là dans un état d'altération, par lequel elles sont rendues presque méconnaissables.

C'est encore au même groupe de gisements que se rattache, avec des variantes, le cas de *Jabalpur*. Là on est sur un synclinal de schistes métamorphiques et quartzites, dans lequel s'intercalent des lits de schistes hématiteux accompagnés de jaspes. C'est dans ces lits d'hématite, rappelant les conditions de gisement des itabirites du Brésil, que se sont localisées des pyrolusites et psilomélanes.

Brésil[1]. — La principale région manganésifère du Brésil est actuellement dans la chaîne montagneuse située au Sud d'Ouro Preto (Minas Geraes), qui porte le nom de Sierra do Itacolumi. Elle est desservie par le chemin de fer central et les exploitations sont voisines des stations de *Queluz*, *Lafayette* et *Miguel Burnier*. Les gisements de cette région sont encaissés, sous la forme de lentilles ayant parfois 2 et 3 km. de long, dans une série de micaschistes et calcaires réputés précambriens. On trouve, en même temps, les quartzites ferrugineux riches en oligiste, connus sous le nom d'itabirites, qui forment des masses considérables et l'hypothèse la plus vraisemblable est d'attribuer les oxydes de manganèse, à la transformation de couches ou filons-couches, qui ont dû autrefois renfermer des oxydes de fer un peu manganésifères et peut-être des sulfures complexes. Les gisements pourraient se rattacher, comme ceux de l'Inde, à une ancienne altération continentale, peut-être suivie de métamorphisme par retour en profondeur[2].

On distingue pratiquement les gisements intercalés dans les gneiss, comme ceux de Queluz, et ceux qui s'associent à des calcaires, comme à Miguel Burnier et Ouro Preto.

La première catégorie, beaucoup plus importante, se rencontre à Lafayette-Queluz (Minas Geraes) et à Nazareth (Bahia). Dans le district de Queluz, où se trouvent les exploitations principales du Brésil, la mine la

[1] 1898. Ribeiro Lisboa. *O manganez no Brasil* (Jornal do Commercio, 19 juin et Rev. univ., t. 44, 22 p.). — 1900. Branner. *The Manganese deposits of Bahia and Minas* (Tr. Am. I. M. Eng. sept., p. 160-185). — 1900. Herbert Kilburn Scott. *The mang. ores of Brazil* (Journ. of the Iron. and Steel, n° 1, 40 p.). — 1901. Orville A. Derby. *On the mang. ore depos. of the Queluz distr.* (Minas Geraes) (Am. J. of Sc., t. 12, p. 18). — 1910. *Mineral Resources*.

[2] Comme dans tous les cas pareils, on a communément admis la simple origine sédimentaire.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

plus importante est celle de *Morro da Mina*, à 1 100 m. d'altitude et à 6 km. de la station de Lafayette. Le dépôt forme une lentille au milieu de terrains schisteux altérés. On y travaille sur 3 km. de long et des sondages ont, paraît-il, trouvé la continuation du gisement jusqu'à 120 m., au-dessous de l'affleurement. Le minerai à 50 p. 100 tient 1 à 2 de silice et 0,06 à 0,08 de phosphore p. 100.

Près de Miguel Burnier, les couches fortement redressées comprennent, d'après Ribeiro Lisboa, un banc de 3 m. de minerai de manganèse, avec des itabirites et des minerais impurs de fer et de manganèse, au milieu de calcaires à faible teneur en manganèse qui, eux-mêmes, sont intercalés dans les micaschistes.

D'autres régions du Brésil paraissent également riches en minerais de manganèse. On cite notamment la province de Matto Grosso, en se rapprochant de la frontière brésilienne.

Saint-Marcel en Piémont[1]. — On exploite, depuis plus d'un siècle[2], dans le Val-d'Aoste, et le Val-Tournanche, en Piémont, un groupe de gisements manganésifères, situés dans une région fortement minéralisée en minerais sulfureux.

Les principales mines sont : Saint-Marcel, bien connue des minéralogistes pour les minéraux très spéciaux qu'on y rencontre ; Tourgnon, Val-Tournanche et Bardonèche.

Le gisement de Saint-Marcel, décrit au siècle dernier par de Saussure, est situé dans un massif de gneiss à bancs peu inclinés. Le manganèse forme un grand amas interstratifié dans les couches de gneiss. Aux affleurements, il avait une épaisseur de 5 m. ; mais il diminue progressivement à mesure qu'on s'enfonce en galeries et ne doit pas dépasser 100 m. de longueur. Sa pente est d'environ 20°.

Le minerai se compose d'oxydes de manganèse, en particulier de braunite (marceline), avec de la hausmannite et de la pyrolusite. Ces oxydes, souvent très bien cristallisés, sont accompagnés de carbonate de manganèse rouge et de grenat (spessartine). En outre, comme nous le constatons dans bien d'autres cas analogues, tous les éléments du gneiss au contact, mica, épidote, etc., ont été pénétrés de manganèse et ont recristallisé ainsi, sous forme de minéraux manganésifères exceptionnels, tels que la rhodonite, la piémontite (épidote manganésifère), etc.

Transylvanie (Macskamezö)[3]. — Divers gisements de manganèse, intercalés en Transylvanie au milieu des micaschistes, ont été décrits comme des sédiments métamorphisés, mais peuvent parfaitement aussi, suivant une remarque antérieure, résulter d'une substitution ultérieure à des calcaires.

D'après Kossmat et C. V. John, il existe là, le long du Lapos, des bancs

[1] Gisement visité en 1883. — 1796. De Saussure. *Voyage dans les Alpes*, t. 8, p. 229 (Neuchâtel). — Baretti. *Stud. geol. sul gruppo del Gran Paradiso* (Mem. R. Ac. Lincei, 3, 1, 303). — 1883. D'Achiardi. *I Metalli*, etc., t. 2, p. 351.

[2] Au siècle dernier, ces gisements fournissaient du manganèse aux verriers de Venise et du Sud de la France.

[3] 1905. Kossmat et C. v. John. *Das Mangan-Eisenerzlager von Macskamezö in Ungarn* (Z. f. pr. G., p. 305-325, avec bibliog. antér.). — Beck, t. 2, p. 403.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de jaspes manganésifères avec magnétite, ayant ultérieurement subi une altération locale en oxydes. Ces jaspes forment une série de couches dans les micaschistes grenatifères à lentilles de quartz, à quelque distance au toit d'un niveau de marbre. La forme profonde du gisement présente, comme à Saint-Marcel, les transformations manganésifères de divers minéraux silicatés, hornblende (dannemorite), olivine (knebélite), grenat (spessartine), avec du carbonate de manganèse. Il y a quelques cristaux de barytine. On a cherché, dans les radiolaires, l'origine de la silice, qui nous paraît avoir bien des chances d'être due à une introduction postérieure.

Bukowine [1]. — Un type analogue se trouve dans le Sud de la Bukowine, à Oberaschitza et Arschitza Anna, sur la rive gauche de l'Eisenthal. Des bancs de silicate de manganèse (rhodonite), présentant des teintes variables du rose chair au vert gris, s'intercalent dans un terrain de schistes micacés et amphiboliques. Leur épaisseur, très variable, peut atteindre 2 m. On y voit des traces disséminées de carbonate (dialogite). Une altération superficielle, dont on suit aisément les progrès, donne des amas de pyrolusite, avec un peu d'hausmannite et de l'hématite, qui atteignent jusqu'à 40 m. de puissance.

b) LITS MANGANÉSIFÈRES PRIMAIRES

Hautes-Pyrénées [2]. — Il existe, dans les Hautes-Pyrénées, un certain nombre de gisements de manganèse, sous la forme de silicates, autrefois étudiés par Beaugey, qui ont été repris vers 1906 pour production électralytique directe de silico-manganèse et dont on extrait actuellement 4 à 5000 t. par an. Les principales concessions sont *Loudervielle* et *Adervielle*, puis *Germ* et la *Serre d'Azet*.

L'ensemble de la région est constitué de terrains dévoniens, dont la coupe serait, de bas en haut, d'après Caralp :

4° Calcaires à gionatites.
3° Calcaires à encrines ;
2° Schistes argileux, parfois ardoisiers, à trilobites et schistes ardoisiers à néréites ;
1° Calschistes avec calcaires satinés.

Les gîtes de manganèse se trouvent dans l'assise 2, parfois à ses contacts avec les couches calcaires 1 et 3.

[1] 1855. Cotta. *Einlag. im Glimmerschiefer der südl. Bukowina* (B. u. H. Z., n° 39, p. 319-320). — 1876. Walter. *Die Erzlagerst. der südl. Bukowina* (J. KK. Geol. Reichs. p. 372-382). — Beck, t. 2, p. 402.

[2] Grüner. *Sur le gisement et le mode de formation des minerais de manganèse des Pyrénées* (Ann. d. M., 4e série, t. 18, p. 61). — 1889. Beaugey. (B. S. G. F., 6 juin, 3e, t. 17 p. 297). — 1900. Klockmann. *Manganerze, und anderweitige Lagerstätten der französischen Pyrenäen* (Z. f. pr. G., p. 265 à 275). — 1901. Lacroix. *Sur les minéraux des gisements manganésifères des Hautes-Pyrenées* (Bul. Soc. fr. Min., p. 255-258). — Peut-être les gisements du Merionetshire, décrits page 550, sont-ils à rapprocher de ces gisements pyrénéens.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ces schistes contiennent un certain nombre de bancs interstratifiés d'une roche pétrosiliceuse appelée *génite*, composée de quartz calcédonieux avec un peu de rutile et d'apatite, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres. Certains de ces bancs, rigoureusement interstratifiés, se chargent de silicates de manganèse, de rhodonite et de friedélite finement rubanées. L'une de ces couches de rhodonite et quartz affleure, par exemple, à Barlesta. Au milieu de cette rhodonite, les oxydes de manganèse, produits par l'altération superficielle, remplissent des poches accompagnées d'un peu de carbonate de manganèse cristallisé. Il est possible, comme on l'a dit, que ce carbonate résulte de l'action de l'acide carbonique de l'air sur le silicate. Mais, d'autre part, nous serions très porté à voir, dans le gisement tout entier, l'effet d'une silicification postérieure analogue à celle qui a été étudiée pour les minerais de fer, notamment au Lac Supérieur. Le gisement aurait alors passé par la forme de carbonates avant d'être silicaté et ces carbonates métallifères, suivant une observation que nous avons souvent l'occasion de renouveler pour les minerais de ce groupe, pourraient eux-mêmes résulter d'une substitution à des calcaires préexistants.

Oural (dévonien)[1]. — Le dévonien inférieur, dit hercynien, de l'Oural renferme, au milieu de tufs accompagnant les porphyrites, des couches interstratifiées de jaspes manganésifères, que l'on a expliquée, comme d'autres du même genre[2], par des vases à radiolaires transformées et qui d'après Tchernychev, représenteraient donc des sédiments pélagiques et terrigènes de mer profonde.

Nouvelle Zélande[3]. — On a exploité en Nouvelle Zélande, dans l'île Nord, en divers points de la province d'Auckland et près de Wellington, des lits de minerais de manganèse avec schistes rouges jaspoïdes, intercalés dans le carbonifère, que Hutton a également comparés aux dépôts actuels manganésifères dès grandes profondeurs. Comme dans tous les cas semblables, nous croyons plus vraisemblable que la silice aura été rassemblée ultérieurement, en même temps que s'opérait la concentration progressive du manganèse.

Elbingerode et Lautenthal (Harz)[4]. — On a exploité, à Elbingerode, des couches de psilomélane et pyrolusite, avec, accessoirement, rhodonite et dialogite, de 1 m. de puissance, intercalées dans les schistes quartzeux dinantiens. De même, à Lautenthal, des couches de rhodonite et dialogite s'intercalent dans ce même niveau. L'introduction postérieure du manganèse est possible.

[1] 1899. J. Strichov. *Gîtes de manganèse près de Marsjata, district de Bogoslovsk* (Bull. Soc. nat. Moscou, en russe. 1, p. 104-108); résumé dans Neues Jahrb. f. Min., 1901, t. 2, p. 406. — *Rich. min. de l'Asie*, p. 575.

[2] Voir plus haut pour la Transylvanie (p. 555) et plus loin, p. 557 (Nouvelle-Zélande), p. 567 sur les dépôts manganésifères actuels.

[3] 1894. L. De Launay. *Les Richesses minérales de la Nouvelle-Zélande* (Annales des Min., mai, p. 30, avec bibl.).

[4] 1859. Holzberger. *Neues Vork. von Manganerze bei Elbingerode* (B. u. H. Z., p. 383). — Klockmann. (*B. u. D. Oberb. Harzes.*, p. 65). — Voir plus haut, t. 1, p. 399 et 476.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Province d'Huelva[1]. — On connaît depuis longtemps et on a exploité un moment avec activité des gisements de manganèse situés dans la province d'Huelva sur le versant Sud de la Sierra Morena. Ces gisements, dont on a découvert une centaine, se trouvent dans la même région que les amas pyriteux, avec lesquels ils sont probablement en relation. On les trouve sous la forme de lentilles intercalées en concordance approximative dans des schistes argileux et porphyroïdes qui appartiennent en partie au culm, souvent le long de diabases effusives, accompagnées de tufs. Leur longueur atteint rarement 1 000 m. Le plus profond, celui de Santa Catalina, a disparu à 100 m. de profondeur et la plupart ne descendent pas au-dessous de 30 m. Il nous paraît donc très vraisemblable qu'ici encore, malgré certaines apparences contraires, la concentration manganésifère a été influencée par une altération continentale et une remise en mouvement, remontant à une époque plus ou moins ancienne : altération, dans laquelle aurait été rassemblé au voisinage du jour le manganèse, provenant peut-être originairement des roches diabasiques, mais sans doute plus directement emprunté à des gisements pyriteux disparus[2]. On a pu néanmoins soutenir aussi la théorie sédimentaire.

Ces gisements comprenaient autrefois à la surface les associations ordinaires d'oxydes de manganèse (pyrolusite, psilomélane) et de fer avec les matières siliceuses improprement dénommées jaspes. Ce genre de minerais a complètement disparu. Mais, plus bas, on a retrouvé le manganèse sous une forme antérieure dont ces oxydes dérivent : à savoir un mélange de carbonate et de silicate de manganèse avec du grenat manganésifère, qui rappelle donc beaucoup les types étudiés plus haut dans l'Inde et un peu aussi ceux des Hautes-Pyrénées. Hoyer a décrit les mines La Leona, Tallisca, Las Monjas, El Morante, Tocerera, Castillo de Palancos.

c) LITS MANGANÉSIFÈRES SECONDAIRES ET TERTIAIRES

Bosnie (Čevljanovic)[3]. — Il existe, au Nord de Serajevo, à Cevljanovic, un gisement de manganèse exploité depuis 1880, où l'on trouve des veines de psilomélane barytique, imprégnant, feuillet par feuillet, des couches plissées jurassiques de jaspes à radiolaires entourant un horst de calcaires triasiques et parfois localement pincées au milieu d'eux (Drazovici). Cette première forme de gisements, que l'on a considérée comme contemporaine des couches encaissantes, est généralement trop siliceuse

[1] Gonzalo y Tarin. *Descrip. geol. de la prov. d'Huelva.* — 1902. Hereza. (Revist. minera du 1er et du 8 fév.). — 1902. Doetsch (Revista minera, janv.) — 1911. Hoyer. *Beitr. z. Kennt. der Manganerzlag. in der sp. Pr. Huelva* (Z. f. pr. G., p. 407 à 432, avec bibl.)

[2] On a objecté que certains de ces amas n'affleurent pas et que d'autres, mis au jour par le creusement des vallées, devaient se trouver récemment encore en profondeur. Mais nous avons insisté assez de fois sur la profondeur jusqu'à laquelle peuvent se faire sentir les actions dues aux circulations aqueuses que nous qualifions de superficielles.

[3] 1906. Katzer. *Die geol. Verh. des Manganerzgeb. von Cevljanovic* (B. u. H. J. KK. mont. Hochschulen, t. 54. Vienne).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pour valoir l'exploitation. Mais il existe aussi des couches argileuses où le manganèse s'est concentré en nids et lentilles. Un fait, qui pourrait inspirer quelques doutes sur le caractère sédimentaire de ces gisements, est l'existence, dans le même district, de dépôts manganifères incrustant aussi des fentes du calcaire triasique ou des couches à radiolaires.

Chili[1]. — Nous classerons hypothétiquement dans ce groupe les minerais mal connus du Chili (districts de Coquimbo et de Carrizal), qui nous sont décrits comme renfermant des silicates, avec des oxydes produits par leur altération et une gangue barytique et qui s'intercalent dans les terrains secondaires au voisinage de roches éruptives.

Tchiatoura (Kvirila)[2]. — Les couches manganésifères de Tchiatoura, sur la Kvirila, affluent du Rion, dans le gouvernement de Koutais, au Caucase, méritent une étude spéciale : tant par leur grande importance industrielle, puisque ce gisement était récemment encore le premier du monde, que par le très difficile problème géologique, posé à leur sujet.

Si l'origine de ce gîte n'a jamais été bien expliquée, son allure et sa disposition ont été du moins maintes fois décrites (*fig.* 276).

Il s'agit d'une formation très étendue couvrant au moins 60 km.[2] (et même le double d'après certains auteurs). Sur cette étendue se trouvent des couches horizontales, ou faiblement inclinées, appartenant à l'éocène supérieur (45), qui reposent sur de la craie à silex turonienne (37) et sont souvent recouvertes par des calcaires oligocènes (46). A la partie supérieure de l'éocène, ou peut-être déjà dans l'oligocène[3], les minerais de manganèse forment une couche très continue de 1,50 m. à 2 m. environ d'épaisseur normale, ayant 10 km. dans un sens, 6 km dans l'autre et disparaissant dans tous les sens par amincissement. Le cube de minerai peut y être évalué en gros à 100 ou 150 MT. Les strates éocènes ont été attaquées par une érosion, qui les a découpées en nombreux mamelons séparés par des vallons où apparaît la craie : en sorte que les affleurements manganésifères dessinent des courbes compliquées, offrant des points d'attaque multipliés (fig. 276 à 278). Les couches sont généralement régulières

[1] 1896. Philipps-Louis. Ore Deposits, p. 878.

[2] Voir la carte fig. 276, p. 566. — Coll. Ecole des Mines, n° 2158. — 1868. Abich. *Sur les gisements de manganèse en Transcaucasie* (Ac. Imp. des Sc. de Saint-Pétersbourg, t. 3 (en allemand). — 1882. Reuleaux. *Gisements de manganèse de la Transcaucasie* (Soc. géol. de Belgique, t. 9, p. 137-142). — 1888. N. Kozovsky. *Les manganèses du gouv. d'Iekaterinoslav* (en russe). — *Gîtes métallifères*, t. 2, p. 17 à 22 et bibl. — 1898. Drake. *The manganese ore deposits of the Caucasus* (Trans. Am. Inst. Min. Eng., t. 28, p. 191 à 208; Colliery guardian, t. 76, p. 467-74. Londres); Traduit par Demaret (Ann. d. Mines de Belgique, 1899, t. 4, p. 220 à 227). — 1898. Macco. *Excursion nach dem Kaukasus und der Krim* (Z. f. pr. G., p. 203). — 1898. Pourcel. *Sur les gis. de manganèse de Tchiatour* (Ann. d. Mines, 9e, t. 13, p. 664 à 676). — 1898. Sevens C. *Manganese ore industry of Transcaucasia* (Colliery guardian, t. 75, p. 809. Londres). — 1901. N. Sokolow. *Les gisements de manganèse dans les couches tertiaires du gouvernement d'Iekaterinoslav* (Mém. du Com. géol., t. 18, n° 2 ; 82 p., 1 carte et 1 pl.; en russe, avec résumé allemand. — 1907. M. Glasenapp. *Neues Manganerzlager im Kaukasus* (Rigasche Industrie Ztg., p. 14). — 1909. Lecomte-Denis. *Le manganèse* (110 p. in-8° avec bibl. Dunod).

[3] Cette dernière opinion, moins répandue, est celle de Sokolow.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

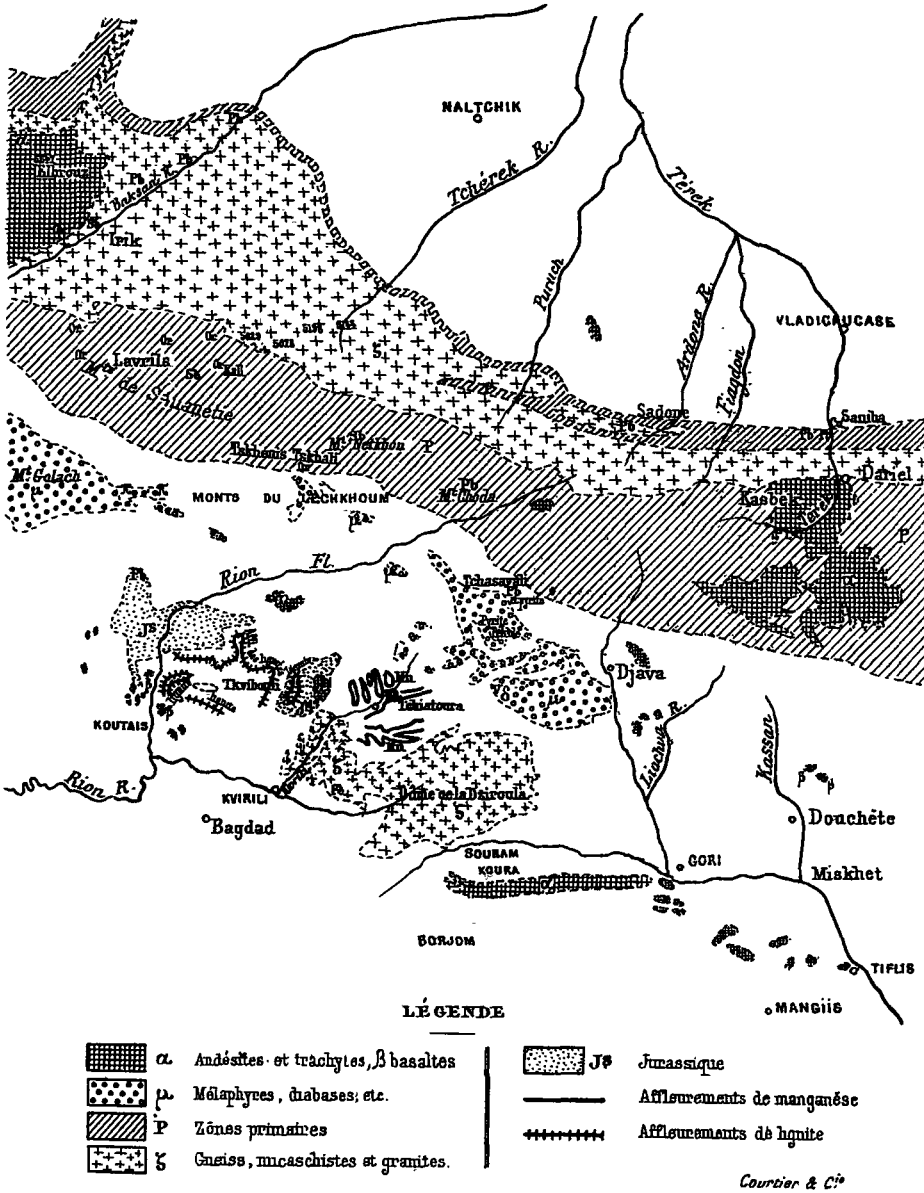


Fig. 276. — Carte géologique et minière du Caucase Central. Echelle au 1/1 850 000e.
On a mis en évidence les zones granitiques et paléozoïques, ainsi que les zones de mélaphyres et les roches éruptives récentes. Le tertiaire a été laissé en blanc.

et très faiblement ondulées[1]. Cependant elles présentent de petits rejets, notamment le long de dykes basaltiques qui les ont traversées.

[1] Le pendage atteint très localement 15°.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Si nous entrons dans le détail, nous pouvons d'abord remarquer que l'éocène supérieur nummulitique est, quand on a sa série complète, composé, à sa base, de schistes argilo-siliceux, argiles schisteuses et marnes

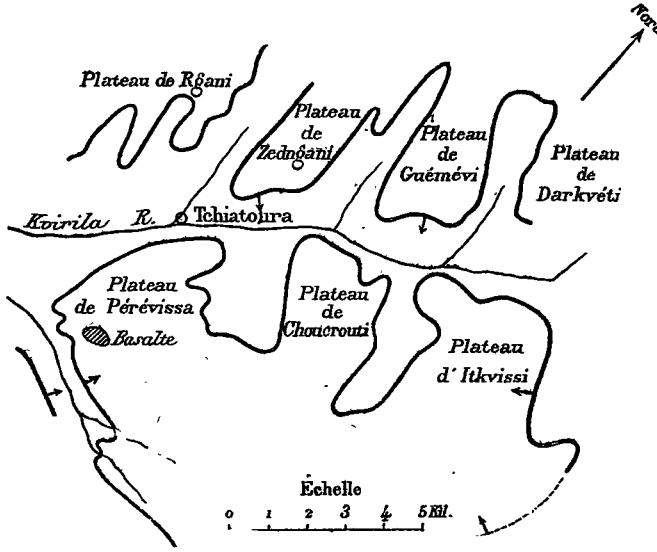


Fig. 277. — Plan de la région de Tchiatoura (Kvirila).

très fissiles. A sa partie supérieure, il passe à des grès calcaires feuilletés, puis à des calcaires blancs grèseux et à de véritables grès, où s'intercalent les bancs manganésifères avec dents de Lamna et d'Otodus, qui lui ont fait donner le nom d'étage à poissons, nombreux fragments de coquilles et nodules pyriteux.

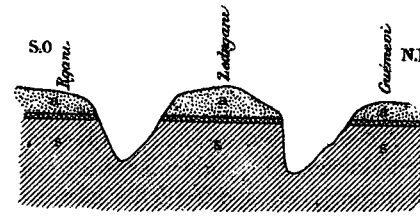


Fig. 278. — Coupe NE-SW des gisements de manganèse de Tchiatoura.

Souvent la couche manganésifère n'est séparée de la craie que par 0,50 m. à 4 m. de sables rouges ou verdâtres. Au-dessus d'elle viennent les grès calcaires oligocènes avec graviers de quartz et fragments de Cardium et de Cyrènes. Les caractères stratigraphiques du dépôt manganésifère impliquent évidemment un dépôt voisin du rivage, peut-être transgressif, avec courants progressivement atténués, suivi encore pendant l'oligocène par un dépôt côtier.

Géographiquement, cette région de Tchiatoura s'intercale entre le dôme de Tkvibouli au Nord-Ouest et celui de la Dziroula au Sud : le premier ayant un substratum de lias, recouvert par des formations transgressives commençant aux grès à lignite bathoniens, le second formant une masse granitique, sur laquelle reposent transgressivement des terrains divers allant du jurassique au sarmatien (52).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La couche manganésifère elle-même peut être subdivisée en 7 à 12 bancs de pyrolusite, séparés par des lits détritiques de sable marneux qui accusent des intervalles dans le phénomène de dépôt. Les bancs solides sont formés d'oolithes manganésifères à écailles concentriques, passant à du minerai plus massif où ces oolithes n'apparaissent plus. En moyenne, la grosseur des oolithes augmente de bas en haut. Pratiquement, ces minerais ont l'inconvénient d'être très friables. Les parties solides, seules utilisées par les ouvriers locaux, tiennent de 52 à 56 p. 100 de manganèse (soit, pour 56 p. 100, 84, 86 de bioxyde et 1,54 de sesquioxyde) avec 1,58 de barytine, 5 p. 100 de silice, 1,80 d'argile, 0,80 d'oxyde de fer et des traces parfois sensibles de phosphore, ainsi que de divers métaux (cuivre et plomb).

Le phosphore, dont la présence a une si grande importance industrielle, ne dépasse le plus souvent pas 0,05 p. 100; mais localement, il atteint 0,15 p. 100.

On peut remarquer ici encore l'association si fréquente du manganèse avec le baryum, dont le terme extrême est ailleurs la psilomélane et qui, dans des cas si nombreux, s'interprète par la destruction de roches cristallines à plagioclases barytiques sur des zones émergées.

En dehors des minerais solides, la couche renferme des pyrolusites friables et des oxydes hydratés mous, que l'on rejette actuellement. A sa partie inférieure, elle devient argileuse et plus hydratée.

Nous avons dit, en commençant, combien l'origine de ce gisement est mystérieuse. Comme pour divers gisements déjà décrits (Transylvanie, Oural, Nouvelle Zélande, etc.), l'idée est venue à quelques géologues d'établir une comparaison avec les grandes profondeurs marines, où s'accumulent aujourd'hui des boues manganésifères : seul dépôt de manganèse important, à la formation duquel nous assistions.

Cette hypothèse paraît incompatible avec les conditions manifestes du dépôt et il faut, à notre avis, en chercher une autre, dans laquelle il semble bien probable que, d'une manière quelconque, l'érosion d'une masse continentale ayant renfermé déjà des minerais métalliques complexes a dû intervenir. C'est ce que nous verrons après avoir étudié au paragraphe suivant les gisements de Nikopol.

Exploitation. — Bien que les conditions d'exploitation se soient un peu améliorées en ces dernières années, en ce qui concerne les moyens de transport, elles offrent de très graves défauts, qui tiennent surtout au régime légal russe de la propriété minière et qui rappellent les effets causés par une même cause pour le soufre de Sicile, etc. La mine appartient, en effet, au propriétaire du sol, et cette propriété est, non seulement très divisée, mais très mal définie. D'où la presque impossibilité, pour une société sérieuse, d'organiser une exploitation méthodique, où l'on tirerait parti des richesses considérables, qui sont gaspillées et gâchées pour l'avenir par des grattages maladroits aux affleurements, dans lesquels on rejette même une forte partie du minerai utilisable. Quelques sociétés (anglaise, française, etc.), ont cependant réussi à grouper une certaine étendue du gîte; mais elles sont forcées d'utiliser un personnel ouvrier très instable et peu expérimenté. Les moyens de transport ont été également d'une installation difficile, tant par les conditions géographiques

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que par l'opposition de la population indigène, pour laquelle les transports à engins primitifs sont une occasion de bénéfice. On n'a pu, par exemple, installer des transports aériens tout indiqués. Cependant, depuis 1892, un embranchement à voie étroite, partant de Tchiatoura, va se relier au réseau général.

Dans ces conditions, on estime que le minerai, dont l'abatage a coûté 3 ou 4 fr. la tonne, coûte déjà 4 fr. de plus pour descendre à Tchiatoura.

Nikopol. — On peut comparer aux gisements précédents, un autre gîte manganésifère, également de grande importance industrielle depuis 1886, qui se trouve dans le Sud-Ouest du gouvernement d'Iékaterinoslav, à l'Ouest de la ville de *Nikopol*, sur le Tchertomlyk, affluent du Dnieper[1].

On observe là, d'après N. Sokolow, des couches manganésifères à mollusques oligocènes (Cardita, Lucina, etc.), reposant sur une argile siliceuse vert pomme, et parfois sur un sable argileux à glauconie et recouvertes par une argile plastique gris verdâtre sans fossiles, mais qui, d'après ses relations stratigraphiques, semble appartenir au sarmatien (52) (Solenaya et Tchertomlyk). Parfois la couche de minerai est séparée de ces argiles par des lits de sables argileux. La couche de pyrolusite peut avoir 1,50 m. à 2,50 m. d'épaisseur; elle disparaît en se coinçant et on voit alors le sarmatien passer directement sur les roches cristallines sans interposition d'oligocène. Au delà de la crête cristalline, d'autres couches manganésifères recommencent, mais reposent alors directement sur le granite et le gneiss (Krasnogrigorjevka), parfois en commençant par la base par un lit à nodules de pyrolusite de 1 à 2 cm. Nous retrouvons donc ici, comme à Tchiatoura, des conditions très probablement littorales et un régime des mers changeant. Toujours comme à Tchiatoura, les restes de poissons, et notamment les dents de squales (carcharodon, odontapsis, carcharias, etc.) y sont très abondants[2]. Des débris de bois sont fréquents.

Quelques autres gisements de manganèse, sans importance pratique, montrent, jusqu'à une certaine distance, l'extension d'un régime semblable, notamment sur l'Ingoulez, en aval de Krivoï-rog.

Le minerai de Nikopol est de la pyrolusite. Celle-ci est ordinairement disposée en concrétions irrégulières formant des nodules à écailles concentriques, parfois géodiques, avec cristaux intérieurs; ailleurs aussi, elle devient compacte. On trouve ces nodules disséminés dans un sable argileux, teinté en noir par le manganèse : vers la base, ils tendent à s'accumuler davantage.

A l'examen microscopique, les minerais compacts montrent des grains de quartz disposés concentriquement autour d'un centre quelconque (grains de sable ou de pyrolusite). On y observe également du feldspath et des débris de roches cristallines. Les concrétions tiennent souvent de

[1] Ces minerais alimentent la métallurgie russe, tandis que ceux du Caucase sont exportés.

[2] 1895. O. JAEKEL. *Untertiäre Selachier aus Süd-Russland* (Mém. Com. géol. t. 9, 4). C'est là un rapprochement, entre beaucoup d'autres, avec les dépôts phosphatés, précédemment étudiés, dont l'origine semble, sur bien des points, à rapprocher de celle de ces manganèses, comme de celle des minerais ferrugineux oolithiques. (Voir tome I, page 647.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

0,2 à 0,3 p. 100 de phosphore, parfois seulement des traces. La teneur pratique en manganèse est de 42 à 44 p. 100.

En résumé, on arrive, pour Nikopol comme pour Tchiatoura, à l'idée de dépôts littoraux formés, dans des baies peu profondes, le long de dômes émergés ou de hauts fonds ayant pu comprendre des roches cristallines et il est à noter qu'à l'Est de l'Oural, dans le district de Bogoslovsk, on retrouve encore du manganèse dans les sables glauconieux littoraux de l'éocène supérieur ou de l'oligocène[1]. Dans des conditions de ce genre, Buchanan a signalé des nodules manganésifères de formation contemporaine sur la côte d'Ecosse, Murray dans la Mer Noire, Nordenskiöld dans la mer de Kara : le tout à moins de 100 m. de profondeur[2].

Quel a été au juste le mécanisme des réactions? C'est ce que, dans l'état actuel de nos connaissances, il semble difficile de préciser[3]. Très vraisemblablement, le manganèse a eu pour origine première les roches cristallines, dont les amphiboles notamment en contiennent souvent des traces et les filons métallifères associés. On pourrait supposer, pour expliquer ces grandes masses de minerais, un phénomène plus spécial : par exemple, une première latéritisation des roches émergées et probablement aussi une altération superficielle de quelques gisements ferrugineux, oxydés ou pyriteux, à faible teneur initiale en manganèse. Nous avons vu précédemment, en effet, avec quelle facilité les gisements de fer donnent, par une altération de ce genre, des concentrations manganésifères, dans lesquelles se rencontre souvent, en même temps, de la baryte empruntée aux roches cristallines également altérées, parfois aussi du cobalt ou du phosphore, et qui disparaissent, au-dessous du niveau hydrostatique, pour faire place à des gisements généralement sulfureux, où se décèle à peine la présence du manganèse.

Cependant nos minerais de Tchiatoura, comme ceux de Nikopol, ne sont pas le produit direct et sur place d'une action de ce genre, mais un dépôt dont tout au moins la forme première a été marine ou saumâtre; et, quoique leur substratum puisse être exceptionnellement formé par des produits de destruction du granite (Est de Nikopol), en général, le mur est composé de sédiments antérieurs ne présentant pas une teneur en manganèse particulièrement forte. Il y a donc eu apport à distance ou introduction du manganèse à l'état de dissolution ; et, si le phénomène est à peu près contemporain de la sédimentation, il faut qu'il y ait eu courant provoquant, sur ce point, une concentration toute spéciale de la teneur en manganèse, ordinairement très faible dans l'eau de mer. On peut, d'ailleurs, remarquer que les couches sous-jacentes ne semblent pas s'être formées, par rapport aux îlots cristallins, dans des

[1] 1897. Fédorow et Nikitin (Ann. géol. et min. de Russie, t. 3, n° 7, p. 91).

[2] 1891. Buchanan. *On the Composition of Oceanic and littoral Manganese Nodules* (Trans. R. Soc. of Edinburgh, t. 36). — 1900. Murray. *On the deposits of the Black Sea* (The Scottish Geogr. Magazine, t. 16, p. 673-702).

[3] On a parfois pensé, aussi bien pour ces oolithes manganésifères que pour les minerais oolithiques ferrugineux, à une introduction postérieure du métal, qui serait venu se substituer longtemps après, par une sorte de phénomène filonien, à des oolithes calcaires. La discussion, qui a été donnée, p. 417, de cette hypothèse à propos du fer, peut s'appliquer également au manganèse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

conditions très différentes de celles où se sont constitués les sédiments qui nous apparaissent aujourd'hui manganésifères. Nous supposons, en résumé, qu'au moment où le manganèse s'est déposé, il y a eu : 1° apport particulièrement abondant de solutions manganésifères, 2° cause particulière pour que ce manganèse ait été amené à se précipiter avec plus d'abondance de sa dissolution même très diluée. On a songé, à ce propos, d'une façon d'ailleurs tout à fait hypothétique, à l'influence des végétaux : par exemple (Sokolow) au développement possible, entre 50 et 100 m. de profondeur, de certaines algues et bactéries susceptibles de précipiter le manganèse, comme d'autres agissent sur le fer.

Province de Ciudad-Réal (Espagne) (miocène) [1]. — Ed. Fuchs avait étudié, dans les couches miocènes du plateau de la Serena, au voisinage

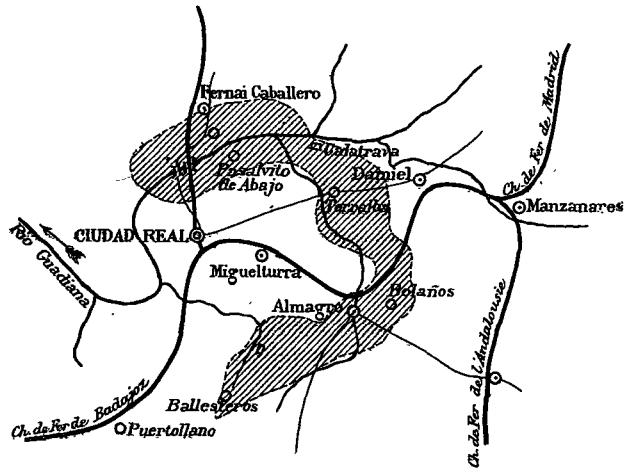


Fig. 279. — Carte du gisement de manganèse de Ciudad-Real.

de la petite station de Val de Peñas, des gisements de manganèse qu'il rapprochait de ceux du Caucase.

Ce plateau, qui oscille entre les cotes 300 et 400, est une des régions minières de l'Espagne (plomb de Villamayor, etc.). La figure 279 montre sa disposition d'une façon schématique.

C'est dans le miocène recoupé par des pitons de basalte que se trouvent les couches de manganèse, à l'état de bioxyde et de sesquioxyde, intercalées au milieu des assises tertiaires sensiblement horizontales (fig. 280). La coupe est la suivante du haut en bas :

1° Calcaire plus ou moins compact;
2° Argile rougeâtre, 1,50 m.à 5 mètres ;
3° Argile blanche, 0,30 m.à 0,50 m.;

[1] 1896. Head. (Journ. of the Iron and Steel Inst., 150, p. 139-160 ; cf. Z. f. pr. G., 1897, p. 90. — 1907. Krusch. *Unters. u. Bew. von Erzlagerst*, p. 390. — 1908. Michael. (Z. f. pr. G., p. 129-130).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

4° *Couche de manganèse*, 1,20 m.;
5° Argile blanche contenant de 15 à 20 p. 100 de minerai, 5 mètres;
6° Argile blanche non traversée.

La *teneur des minerais* est de 40 à 60 p. 100 en manganèse. Ils contiennent, en outre: quartz, 1 à 20 p. 100; phosphore, 0, 25 p. 100; oxyde de fer et alumine, 3 p. 100.

Dans la même région, on a plus récemment essayé d'exploiter, à Ballesteros et Villafranca, des nids, veines et délits de psilomélane intercalés dans des argiles fluviatiles résultant de la décomposition des basaltes. Les minerais, qui doivent être séparés par criblage, tiennent 36 à 54 p. 100, de manganèse. Ils font place à des limonites quand on se rapproche

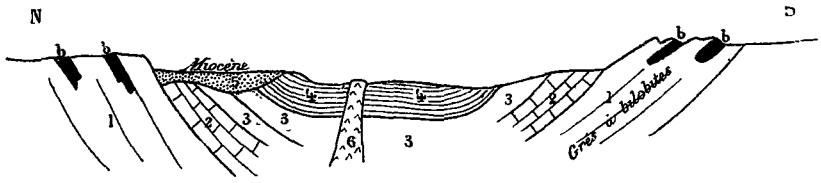


Fig. 280. — Coupe verticale théorique de la région des gisements de manganèse de Ciudad-Réal.

1, grès à bilobites. — *b*, poches de minerai de fer. — 2, dévonien. — 3, calcaire carbonifère. 4, houiller. — 5, miocène. — 6, basalte.

des basaltes auxquels on attribue leur origine. Ce serait donc le produit remanié d'une sorte de latéritisation analogue à celle que nous décrirons bientôt dans l'Inde.

Serbie. — En Serbie, on a trouvé, près de *Kragobasch*, du minerai dans les mêmes conditions qu'à Ciudad-Réal, en couches dans des calcaires d'eau douce remplissant eux-mêmes une vallée.

San Pietro (Sardaigne)[1]. — Il existe, sur la côte S.-W. de Sardaigne, dans l'île de San-Piétro, un gîte de manganèse qui eut, un moment, vers 1881, une certaine importance industrielle, mais qui, depuis, a été abandonné.

Cette île est constituée tout entière de roches trachytiques et andésitiques. La partie où elle contient du manganèse est le *Capo-Rosso*.

En ce point, d'après Ed. Fuchs, la falaise comprend des couches d'argile et de jaspe intercalées dans la formation trachytique, et plongeant de 10° au Nord.

Une de ces formations d'argile, de 2.50 m. à 3 m. d'épaisseur, contient des minerais de manganèse accompagnés de jaspe.

Le minerai, composé d'un mélange de bioxyde et de sesquioxyde, a environ 0,20 m. à 0,30 d'épaisseur. Les affleurements peuvent se suivre, sur une longueur de 2 km., le long de la falaise; mais l'inclinaison des

[1] Coll. Ecole des Mines, 1700. — 1881. Fuchs. *Notes de voyage inédites.* — 1885. Halse. *On the manganese deposits of the islet of San Pietro, Sardinia* (Tr. N. of England Inst. min. a. mec. eng.). — 1886. *Mineral Resources* des Etats-Unis, p. 202.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

couches vers l'intérieur de l'île et la présence, au-dessus du gîte, de trachytes fissurés ont amené des venues d'eau considérables.

Ce gisement, associé avec des argiles et des jaspes, peut résulter, ou d'une altération continentale contemporaine des éruptions trachytiques, ou d'une sédimentation tertiaire.

Cuba[1]. — L'île de Cuba produit une certaine quantité de minerais de manganèse, en même temps que de minerais de fer (22 000 t. en 1890, 10 000 en 1891, 40 000 en 1902, 30 000 en 1907, 1500 en 1908, 3000 en 1909). Les mines sont surtout au Nord de Santiago. Les gîtes de Ponupo, dans le mont Venturas, Boniato, Bocas, Portillo, ont été d'abord exploités. Le minerai principal est surtout de la pyrolusite à 38-56 p. 100 de manganèse, avec une assez forte proportion de silice, un peu de baryte et d'alumine.

D'après Spencer, les minerais sont intercalés dans des couches tertiaires de sables calcarifères glauconieux et de calcaires à foraminifères avec association de jaspes épais et semblent s'être substitués aux calcaires en même temps que se produisait sur ceux-ci la silicification qui a donné les jaspes.

d) DÉPOTS MARINS ACTUELS DE MANGANÈSE

On connaît, depuis l'expédition du Challenger, l'importance des dépôts manganésifères marins dans les mers actuelles et il est possible que ceux-ci aient leur équivalent dans les dépôts géologiques, notamment dans certaines formations associées à des radiolaires que nous avons signalés plus haut d'une façon hypothétique.

D'après Wyville Thomson, le peroxyde de manganèse en grains, concrétions, nodules, etc., est très abondant dans les boues à globigérines et à radiolaires formées au-dessous de 900 m., mais surtout dans les argiles des mers profondes de 1 800 à 3 000 m. On a, dans des cas semblables, trouvé des accumulations de nodules ayant jusqu'à 15 cm. d'épaisseur et pesant jusqu'à 15 kg. Même en se rapprochant du rivage, ces formations persistent sous une forme un peu différente. Des concrétions d'oxydes de manganèse entourent souvent, alors, des dents de squale, des éponges siliceuses, des radiolaires, etc., dans des conditions qui rappellent mieux les dépôts anciens étudiés plus haut, notamment à Tchiatoura et Nikopol[3]. Ainsi, près de Millport, en Ecosse, à 90 m. de profondeur, toutes les pierres, coquilles, etc., sont couvertes d'enduits noirs. Ce manganèse semblerait particulièrement abondant dans les endroits où l'on trouve des débris de lave augitique, basalte, etc. Il résulte là probablement d'une dissolution à l'état de chlorure qui, au voi-

[1] 1893. L. De Launay. *Les Richesses minérales de Cuba* (Bull. Ann. des mines, avril, p. 9, avec bibl.; B. u. H. Z., 1893, p. 53 et la Nature, n° 1303, 21 mai 1898. — 1903. Spencer. (Eng. a. min. J.; cf. Z. f. pr. G., p. 110-111). — 1904. Souder. *Mineral deposits of Santiago* (Tr. Am. list. min. Eng. Févr.). — Voir, pour le fer, t. I, p. 523.

[2] Wyville Thomson. *Challenger expedit.*, 1878 (cf. Ann. d. M., 7e, 13, 505).

[3] Voir plus haut, p. 555, 557, 561 et 563.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sinage de la surface, a donné, en se décomposant, du peroxyde microscopique, resté longtemps en suspension et entraîné au loin. Indirectement, ce processus d'altération des roches basiques a dû souvent commencer une concentration du manganèse, qui s'est ensuite continuée indéfiniment par altération à l'air des sédiments plus ou moins anciens.

6° GISEMENTS D'ALTÉRATION CONTINENTALE

On peut rattacher à ce type un certain nombre de gisements de formation superficielle et d'origine généralement récente, tels que :

a) Poches dans les calcaires (Hesse et Nassau, Dordogne, Etats-Unis).

b) Concentrations dans les latérites, analogues aux poches de fer en grains (Indes, Nouvelle-Calédonie).

c) Filons de sécrétion latérale dans les roches (Harz, Thuringerwald).

d) Concentrations dans les dépôts de marais.

Hesse et Nassau[1]. — La Hesse et le Nassau produisent, depuis long-

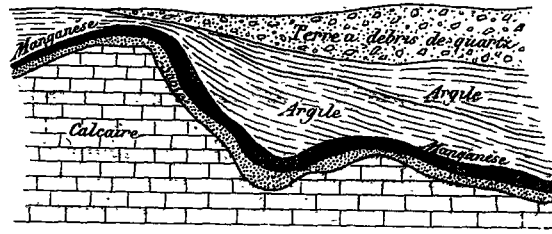


Fig. 281. — Coupe verticale théorique de la mine Rubin, près Niedertiefenbach, d'après Davies.

temps, 25 à 30 000 t. de minerais ferro-manganésifères à faible teneur de 15 à 18 p. 100, utilisés en addition avec les minettes de Lorraine.

Les gîtes de manganèse du Nassau sont en relation avec les gîtes de phosphorite décrits plus haut[2] et, comme eux, situés dans la vallée de la rivière la Lahn, qui se jette dans le Rhin à 5 km. environ de Coblentz. Ils s'étendent, depuis le village de Baldwintein, entre Nassau et Diez, au Nord-Est de Limburg jusqu'à Weilburg et Wetzlau. Les plus anciennes mines étaient, vers 1885, autour d'Elbingerode, puis à Eckholshausen. En 1905, on a extrait 18 000 t. à Waldalgesheim, mine Amalienshöhe. On cite également Schlossberg, Oberrosbach, Obertiefenbach, Niedertiefenbach, etc.

[1] 1862. Riemann (Z. f. d. B. H. u. S. im preuss. St., t. 10, p. 2). — 1863. O. Hahn. (Zeit d. d. geol. Gesel., t. 15, p. 249). — 1894. Riemann. *Das Vorkommen der devonischen Eisen und Manganerze im Nassau* (Z. f. pr. G., p. 50-55). — 1898. Beyschlag. *Die Manganerzvork. der Lindener Mark bei Giessen in Oberhessen* (Z. f. p. G., p. 94 à 96, avec bibl.). — 1898. Hüser. *Das Manganerzvork. im Kreise Biedenkopf, Bergrev. Wetzlar* (Essener Glückauf, p. 529-533). — 1901. Delkeskamp. *Die hessischen und nassauischen Manganerzlagerst.* (Z. f. pr. G., 356-365). — 1906. Tricon. *Les mines de ferro-manganèse d'Ober-Rosbach* (Hesse), 16 p. — Beck. t. 2, p. 235 et bibl.

[2] Tome 1, p. 712 et 713, avec carte fig. 112 et coupes fig. 113 à 115.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les roches fondamentales de la région sont des grès et schistes, appartenant au dévonien inférieur et moyen, surmontés d'un calcaire dolomitique, au-dessus duquel viennent des schistes à cypridines du famennien.

Ces terrains anciens sont recouverts par des dépôts d'argile assez épais (parfois 15 m.), souvent surmontés de détritus de quartz : dépôts qui pénètrent en profondeur dans des poches de corrosion plus ou moins irrégulières du calcaire, généralement dolomitisé près du jour. C'est dans ces poches de formation éluviale que l'on trouve le phosphate ; c'est là

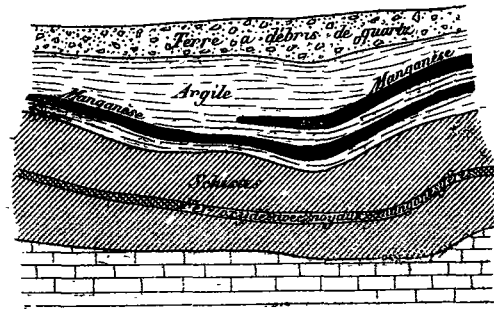


Fig. 282. — Coupe verticale de la mine Fahrweg, près Niedertiefenbach.

aussi qu'existe le manganèse plus ou moins barytique, en veines associées avec des couches d'hématite.

Le groupement de ces trois corps semble attribuable à la concentration superficielle d'éléments empruntés aux terrains sous-jacents, qui peuvent contenir 0,6 à 3 p. 100 de manganèse et qui ont été soumis à

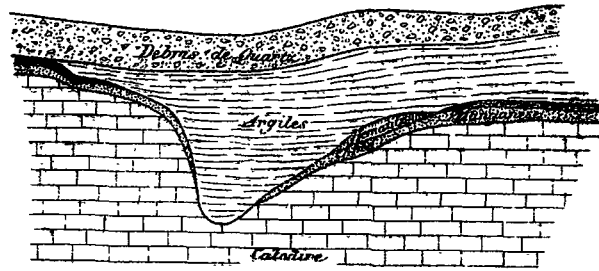


Fig. 283. — Coupe AB, Est-Ouest, à Steeterwasen.

une longue période d'altération continentale. Mais il n'y a pas eu simple dépôt dans une vasque imperméable. Le manganèse, dans les phénomènes de remise en mouvement qu'il a subis, a pénétré dans le calcaire sous-jacent, analogue au calcaire superposé dont la dissolution l'avait sans doute mis en liberté[1]. Il y a alors incrusté des fissures, pseudomorphisé des fossiles, produit des substitutions, que l'on a pu prendre à tort inversement comme l'origine des dépôts.

[1] Il a pu également intervenir des roches éruptives disparues par l'érosion.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les minerais de manganèse proprement dits, contenus dans l'argile, consistent en pyrolusite, psilomélane, acerdèse et wad. Ce sont eux que l'on recherchait autrefois pour la fabrication du chlore; mais la grande majorité des produits utiles sont des limonites manganésifères.

Voici quelques coupes de ces mines (fig. 281 à 284) :

Dans la coupe de la mine Rubin (fig. 281), nous voyons une couche continue de manganèse, reposant sur une couche de sable, suivre toutes les inflexions du calcaire.

Dans la mine Fahrweg (fig. 282), le manganèse est divisé en deux couches.

Sur les coupes de Steeterwasen (fig. 283 et 284), on peut remarquer que les deux dépôts de fer et de manganèse sont assez nettement distincts.

L'épaisseur de ces veines varie de 0,15 m. à plusieurs mètres ; mais la largeur ordinaire est de 0,15 m. à 0,30 m .La teneur moyenne est 63 p. 100

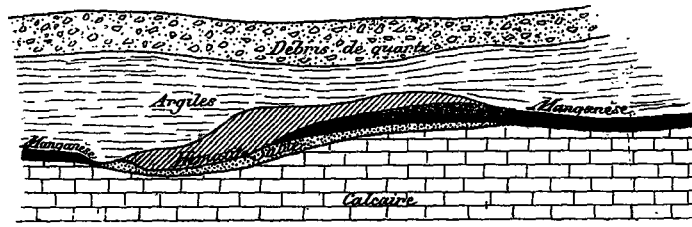


Fig. 284. — Coupe CD, Est-Ouest, à Steeterwasen.

de peroxyde de manganèse. Souvent la limonite manganésifère est accompagnée d'une argile bleue qui jaunit à l'air. L'exploitation se fait, soit à ciel ouvert, soit par une série de petits puits.

Dordogne[1]. — Il existe dans la Dordogne, au Sud de Nontron, d'assez nombreux gisements de psilomélane, en rapport direct avec les minerais de fer en grains comme avec les concentrations de phosphorite ou les kaolins des Eyzies qui se sont produits dans des régions voisines[2]. Ces dépôts, toujours situés à la lisière des roches anciennes du Plateau Central, sont, tantôt sur les calcaires jurassiques (Saint-Martin de Fressingeas près Thiviers, Excideuil, Milhac), tantôt encore sur les schistes cristallins (Aye, Saint-Martin). On y trouve des masses concrétionnées, noduleuses ou terreuses, de psilomélane avec barytine, jaspe, halloysite. Des traces de cobalt y ont été reconnues par Delanouc, comme cela arrive fréquemment dans ces phénomènes de concentration superficielle[3]. Le manganèse a pénétré dans les sédiments voisins, dont il épigénise les fossiles.

[1] 1845. Delanoue. *Sur les oxydes de mang. qui existent dans certaines roches à l'Ouest du Plateau Central* (B. S. G. F., 2e, t. 2, p. 338; t. 3, p. 47 et 100; 2e, t. 14, p. 885). — 1857. Coquand. *Sur les miner. de mang. allophanes de la Charente* (B. S. G. F., 2e, t. 14, p. 889). — 1864. Harlé. *Sur la posit. des dépôts mang. de la Dordogne* (B. S. G. F., 2e, t. 22, p. 33). — 1910. Lacroix. *Minéralogie de la France*, t. 4, p. 19.

[2] Voir t. 1, p. 813, et t. 2, p. 519.

[3] Voir notamment plus haut, t. 2, p. 539 (Saxe, Oural), et plus loin, t. 2, p. 571.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Etats-Unis. — La plus ancienne mine de manganèse des Etats-Unis se trouve en Virginie; c'est la mine Crimora (Augusta County). Puis viennent, en Géorgie, le district de Cartersville et de Cave Spring.

Ces divers gisements semblent, d'après les descriptions, pouvoir être rapprochés de ceux du Nassau et résulter de la concentration superficielle d'éléments disséminés dans des terrains anciens.

Le bassin de *Crimora* est considéré par les géologues américains[1] comme un dépôt de lavage produit par une longue érosion au milieu des grès de Potsdam (cambrien). La psilomélane en nids et veinules s'y intercale dans une argile.

A côté de Crimora se trouve, en Virginie, la mine du *Mont Athos*, qui a dépassé 70 m. de profondeur.

A *Cartersville*, en Géorgie[2], le minerai semble également dans une argile résultant de la décomposition de grès paléozoïques en place. Cependant il affecte, au milieu de cette argile, une certaine régularité pouvant tenir à ce que le manganèse était primitivement concentré dans des strates déterminées. L'âge des grès ainsi décomposés n'est pas encore connu. On exploite à ciel ouvert ou par de petits puits avec des galeries et l'on extrait le manganèse de l'argile par lavage dans des cylindres tournants.

Ces minerais tiennent 40 à 50 p. 100 de manganèse.

Latérite des Indes, etc.[3]. — Aux *Indes*, Ball remarquait, dès 1861[4], que la latérite, produite par l'altération sur place des trapps, contenait souvent des concentrations manganésifères, dont beaucoup passaient inaperçues, ne se distinguant pas immédiatement par leur aspect de la roche encaissante. Ce sont des latérites de ce genre qui fournissent aujourd'hui les minerais de Mahakeswar, au Sud de Bombay et qui, dans le district de Vizianagram, ont parfois formé des masses irrégulières de marceline (braunite) pesant plusieurs tonnes.

Rappelons, à ce propos, que nous avons signalé déjà des psilomélanes empruntées aux basaltes de Ciudad Real.

Nouvelle Calédonie[5]. — Nous aurons l'occasion de décrire, à l'occasion du cobalt[6], les formations d'asbolite liées à la décomposition des péridotites, qui sont, avant tout, industriellement, des minerais de cobalt, mais dont la teneur en manganèse est également notable. La serpentine ayant été soumise à une altération superficielle que l'on peut comparer à une longue latéritisation poursuivie depuis plusieurs périodes géologiques, le nickel qu'elle renfermait au début est parti avec le magnésium, tandis que le cobalt et le manganèse allaient se concentrer ensemble en

[1] 1886. *Mineral Resources*, p. 195. — 1893. EMMONS. (Trans. Am. I. Chicago meeting).

[2] 1886. *Mineral Resources*, p. 186.

[3] *Loc. cit.*, 326.

[4] Nous avons précédemment traité (t. 1, p. 197) cette question des latérites et donné alors sa bibliographie. Nous sommes également revenus sur ce sujet à l'occasion du fer (t. 2, p. 525).

[5] Tome 2, p. 565.

[6] Voir plus loin, t. 2, p. 616, 691, 692, 704; cf. précédemment, t. 2. p. 539 et 570, divers exemples de ces mêmes asbolanes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rognons, filonnets, enduits, où l'on a souvent 20 à 50 p. 100 d'oxyde de manganèse contre 10 à 20 d'oxyde de cobalt Ces rognons, visiblement déposés par les eaux de surface, sont caverneux, mamelonnés, disposés en nids d'abeille, etc. Leur grosseur atteint parfois celle du poing, exceptionnellement 0,30 m. de diamètre. Le fer oxydé les accompagne, et, comme dans tous les gisements de manganèse, la silice forme des noyaux particulièrement développés là où se sont concentrés le manganèse et le cobalt.

Sécrétions latérales du Vogelsgebirge, du Harz et du Thuringerwald. — Divers filons de manganèse allemands sont interprétés, par R. Beck[1], comme le produit d'une sécrétion latérale exercée sur des roches éruptives et ce que nous avons dit précédemment[2] sur la concentration générale du manganèse dans les phénomènes d'altération superficielle équivaut, en effet, dans certains cas, à une telle sécrétion. Au *Vogelsgebirge*, en Hesse, il existe des sécrétions manganésifères à allures de filons dans les basaltes. A *Ilfeld*, dans le *Harz*, c'est une porphyrite à hornblende avec veines contenant des oxydes de manganèse divers associés à de la barytine et de la calcite. Ces veines s'appauvrissent généralement à 10 ou 15 m. de profondeur et descendent rarement à 60 m. La même porphyrite, intercalée dans les grès rouges et dont l'âge est par suite au moins triasique, renferme également des veines d'hématite rouge et de barytine.

Dans la *Thuringerwald*, à *Elgersburg*, c'est, dans un porphyre dont les fissures paraissent dater de l'époque tertiaire, une série de filons ayant depuis quelques centimètres jusqu'à 15 et 20 m. de large, qui ont disparu entre 20 et 50 m. de profondeur. Les minerais dominants sont la pyrolusite et la psilomélane. La barytine est rare.

Dépôts actuels des marais. — Dans les minerais des marais, on observe, comme dans les altérations continentales et les latéritisations, la même concentration progressive de manganèse emprunté simplement aux granites, gneiss, porphyres quartzifères, etc[3]. Dans les fers des marais, la proportion relative moyenne du manganèse de fer est déjà, d'après J. Vogt, de 1 p. 25 et souvent de 1 p. 10, tandis qu'elle était, dans les roches acides, de 1 p. 30, et, dans les roches basiques, de 1 p. 100.

[1] Beck, *loc. cit.*, I, 269 et 270 et bibl.

[2] Tome 2, p. 533.

[3] 1906. Vogt. (Z. f. pr. G., juil., pp. 217-233). Voir plus haut, t. 2, p. 505, sur les fers des marais.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XXXIX

NICKEL

Ni = 58,68

a) — USAGES, COMMERCE ET PRIX

Usages[1]. — Le nickel, employé depuis longtemps par les Chinois pour l'alliage packfong, a été isolé en 1751 par le minéralogiste suédois Cronstedt, dans la nickéline ou kupfernickel (sulfure d'arsenic et de nickel), que l'on considérait jusqu'alors comme un minéral cuivreux parce qu'il a la couleur du cuivre métallique.

Les usages du nickel, longtemps très restreints, ont pris, depuis une trentaine d'années, un essor considérable, qui n'a cependant pas pu suivre le développement de la production. Il en est résulté, pour les prix, un abaissement dans la proportion de dix à un. Néanmoins, comme nous allons le voir, le nickel reste un métal semi-précieux, valant deux fois le prix du cuivre et qui ne peut, en conséquence, recevoir, avant une baisse nouvelle de prix, toutes les applications dont il serait susceptible.

L'usage principal, bien que le plus récent, est la fabrication des *aciers spéciaux au nickel*. A la suite d'expériences commencées en 1885 en France à Montataire et à Imphy, poursuivies bientôt dans les autres pays, on a reconnu l'avantage d'allier le nickel au fer dans la proportion de 3 à 5 p. 100 pour les plaques de blindage, de 3 p. 100 pour les tôles destinées à des constructions métalliques où l'on recherche surtout la légèreté, de 2 p. 100 pour le métal à canons, de 1 p. 100 pour certains arbres dont on désire augmenter la limite élastique. Ces aciers durs, tenant de 1 à 5 p. 100 de nickel sont aujourd'hui d'un emploi courant, mais qui demeure néanmoins restreint. Outre l'inconvénient de coûter deux fois plus cher que l'acier ordinaire, l'acier au nickel présente en effet, certains défauts. Si le métal est plus tenace et si sa limite d'élasticité s'augmente, son travail est plus difficile, il ne supporte pas l'écrouissage, se crique aisément, etc.

Un pas en avant a été fait, dans ces dernières années, par l'adoption, sur quelques lignes américaines particulièrement chargées, de rails en acier à 3,5 p. 100 de nickel. La généralisation d'une telle mesure aurait évidemment une importance considérable pour l'industrie du nickel.

On emploie également un peu des alliages à haute teneur en nickel (20

[1] Voir : 1867. KLENSCHMIDT. *Métallurgie du nickel et du cobalt* (B. u. Hüt. Z.). — 1877. BADOUREAU. *Métallurgie du nickel* (Ann. d. M.). — 1892. LEVAT. *Progrès de la métallurgie du nickel* (Ann. d. M., 9e, t. 1, p. 141). — 1902. DUMAS. *Recherches sur les aciers au nickel à hautes teneurs* (Ann. d. M., 10e sér., t. 1, p. 555).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

à 25 p. 100). Tandis que les faibles teneurs ont surtout pour effet de durcir l'acier, les hautes teneurs lui communiquent des qualités tout à fait nouvelles. Les aciers s'adoucissent alors considérablement par la trempe et ne durcissent que par l'écrouissage; les propriétés mécaniques de certains d'entre eux sont très remarquables, particulièrement en ce qui concerne l'allongement à la rupture et la résistance au choc. Certains de ces aciers très nickélifères ont d'autres propriétés spéciales pour la dilatabilité, qui les font employer à la construction d'appareils de physique, de géodésie. L'artillerie française a consommé, depuis quelques années, une certaine quantité d'acier à 25 p. 100 de nickel.

Il ne faut compter qu'en second lieu les autres emplois bien connus du nickel, soit en dépôts galvaniques, soit en plaqué, soit même en métal pur pour divers objets usuels que l'on veut préserver du vert de gris. Le nickel, trop cher, ne peut viser alors à remplacer le cuivre ou le laiton; mais il se fait néanmoins sa place peu à peu pour la fabrication des instruments de cuisine en nickel pur, des pièces d'orfèvrerie en nickel argenté, etc... C'est ainsi que les objets, dits « Ruolz », « Alfénide » etc, sont en maillechort (nickel, cuivre et zinc) recouvert d'argent par électrolyse. Mais, le plus souvent, on se contente de nickeler superficiellement les objets de fer, acier, etc., en particulier les armes, en les recouvrant d'une couche mince de nickel par galvanoplastie, ou rarement par placage, de manière à les préserver de l'oxydation.

Lorsque le nickel doit être travaillé en feuilles, il est nécessaire d'y introduire un peu de magnésium pour lui donner la ductilité et la fusibilité nécessaires. Cela tient sans doute à ce que le nickel commercial retient des traces d'oxyde de nickel, que l'action réductrice du magnésium fait disparaître.

Allié au cuivre et au zinc (cuivre 50, zinc 25, nickel 25), le nickel forme le *maillechort,* importé en France en 1827 par Chorier et utilisé dans la confection d'une foule de petits objets (coutellerie, horlogerie, couverts, etc.). Il entre également dans la composition de l'argent allemand (german silver),du packfong, de l'électrum, du toutenague, de l'argentan, etc... Depuis 1884, on a créé les ferromaillechorts (fer, cuivre, nickel).

L'un des plus anciens emplois est, enfin, la fabrication de *monnaies d'appoint,* soit en nickel pur comme en Suisse, soit au moyen d'un alliage de nickel et de cuivre à 25 p. 100 de nickel et 75 p. 100 de cuivre, comme dans beaucoup d'autre pays.

Commerce et prix. — Le nickel était autrefois un métal rare et très coûteux[1]. En 1863, il valait 62 fr. le kg. Puis il se maintint longtemps vers 33 fr. Vers 1870, on n'évaluait encore sa consommation qu'à 300 t. et son prix était de 15 à 20 fr. L'adoption pour l'usage monétaire le fit remonter à 27 fr. en 1872, à 40 en 1874. Au moment où commencèrent les exportations de Nouvelle-Calédonie qui ont révolutionné ce marché, en 1875-1878, la production ne dépassait pas 4 à 500 t., dont 60 pour les Etats-Unis. Par l'entrée en jeu de ce nouveau producteur, le prix tomba alors progressive-

[1] La métallurgie du nickel ne date que de 1824, époque où V. Gersdorff fonda, en Autriche, la première usine.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ment à 12 fr. en 1880, puis, lorsque le Canada eut commencé à intervenir sérieusement vers 1890, il descendit encore à 5 fr. en 1892, 4 fr. en 1894, 3 fr. en 1895 et 2,40 à la fin de 1895. Depuis ce moment, un accord entre les producteurs a permis de relever les cours entre 3,50 fr. et 4 fr. En 1910, ils se sont maintenus à Londres autour de ce dernier chiffre. Pendant ce temps, aux Etats-Unis, où l'International Nickel Cy régente le marché, le prix a été d'environ 5 fr. à 5,50 fr.

La principale société française pour le nickel, dite « Le Nickel », a été créée en 1880 et produit, ou achète à elle seule, les deux tiers de la production néo calédonienne.

b) — STATISTIQUE DU NICKEL

Nous résumerons bientôt rapidement l'histoire de l'industrie nickélifère en montrant les minerais employés par elle. On peut faire commencer son véritable développement à la découverte des gisements de la Nouvelle-Calédonie, qui ont exporté, pour la première fois, en 1875. Les exploitations du Canada, qui sont venues leur faire une vive concurrence, datent de 1889. Actuellement, on produit, dans le monde, 25 à 27 000 t. de nickel par an. Voici les chiffres depuis quelques années.

TABLEAU 37. — STATISTIQUE DES MINERAIS DE NICKEL, EN MILLIERS DE TONNES.

		1900	1902	1905	1906	1907	1908	1909	1910
Nouvelle-Calédonie	exportation.	100	129	125	131	102	120	83	115
	production .					120	108	85	
Canada (Ontario)	extraction. . . .		266	275	340	349	405	447	646

TABLEAU 38. — QUANTITÉS APPROXIMATIVES DE NICKEL MÉTAL EXPORTÉ OU PRODUIT EN TONNES.

	1890	1900	1902	1905	1906	1907	1908	1909	1910
Nouvelle-Calédonie . . (Minerais à 7 p. 100 après déduction de 20 p. 100 d'humidité).	1960	5975	7045	7000	7100	5600	6900	5950	8350
Canada (Ontario) [1]. . . (Minerais à 4,5 p. 100).			5886	9344	10638	10496	9477	13900	18600
Norvège . . . . . (Minerais à 1,50 p. 100).							81	70	?

En *Nouvelle-Calédonie,* la première exportation a eu lieu en 1875 (327 t.). En 1876, on est monté à 3 406 et, en 1877, à 4 377. Puis il y a eu deux ans d'interruption causés par la révolte canaque, en 1878-79. Au total, de 1875 à 1900, on a pu exporter 1 800 000 t. de minerai représentant 100 à 105 000 t. de nickel métal. Nous reviendrons bientôt en détail sur l'industrie de ce pays.

Au *Canada*, la production nickélifère vient presque totalement du district de Sudbury, à l'exception d'une faible production fournie par le district de Cobalt, qui ne figure pas sur les statistiques. Les deux compagnies principales sont la Mond Nickel Cy à Victoria Mines et la Canadian Copper Cy à Copper Cliff. Le minerai y est soumis à un rôtissage et à une

[1] Ces chiffres, qui sont ceux des statistiques d'Ontario, dépassent assez notablement les chiffres donnés pour la production du Canada.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fusion pour matte tenant 77 à 80 p. 100 de cuivre et nickel, dont 45 à 48 p. 100 de nickel, qui est expédiée pour être raffinée, un dixième en Angleterre et le reste aux Etats-Unis.

En dehors de ces deux pays, la *Norvège* seule produit un peu de nickel. En 1908, la mine d'Evje dans le Sätersdalen a produit 5 781 t. de minerai ayant fourni 200 t. de matte, qui contenaient 81 t. de nickel et 53 t. de cuivre[1]. En 1909, on a extrait 6 600 t. de minerai tenant 70 t. de nickel. La mine de Ringerike recommence aussi un peu à produire. Enfin, la Kristiansand Nickel Works a installé, en 1910, deux fours électriques.

c) — MINERAIS DE NICKEL

Minéralogiquement, on connait le nickel : à l'état d'association avec le fer ou le cobalt dans les météorites ; puis à l'état de sulfures, arséniures, antimoniures, arséniosulfures ou sulfoantimoniures, dans les filons et amas ; enfin, à l'état de silicates dans les concentrations altérées de serpentines nickélifères. L'oxyde (*bunsénite*), le sulfate (*morénosite*), l'arséniate (*annabergite*), et le carbonate (*texasite* ou *zaratite*) ne sont que des produits superficiels sans continuité.

Les sulfures sont : la *millérite* ou *nickelkies*, ou *haarkies* (NiS) à 64,7 p. 100 de nickel ; la *beyrichite* (NiCoFeS), dont la millérite n'est peut-être que la décomposition ; la *pentlandite*, ou *nicopyrite* et la *grünauite* (sulfure de nickel et de fer). Les arséniures sont : la *nickéline* ou *kupfernickel* (NiAs) à 43,9 de nickel ; la *chloanthite* ($NiAs^2$) à 28,1 de nickel ; la *rammelsbergite*, etc. L'antimoniure NiSb à (32,8 de nickel) est la *breithauptite*, ou nickel antimonial. Enfin la *gersdorffite*, ou *nickelglanz*, ou *disomose* (NiAsS) tient 35,4 p. 100 de nickel ; l'*ullmannite* ou *nickel-antimonglanz* (NiSbS), 27,8 p. 100, et l'on connaît aussi un bismutho-sulfure.

Le silicate principal est la *garniérite*[1], à laquelle on attribue la formule limite (NiOMgO) $SiO^2 + nH^2O$, ou H^{18} (NiMg) $^8Si^7O^{31}$, avec échange possible du nickel et du magnésium en toutes proportions. La teneur limite en oxyde de nickel pourrait atteindre 48,6 p. 100 et reste d'ordinaire entre 20 et 30.

Industriellement, ces minerais ont une valeur très inégale et l'industrie du nickel a passé assez rapidement par une série de phases successives, dans lesquelles on s'est, tour à tour, adressé à telle ou telle catégorie d'entre eux.

1° Vers 1840, les seuls minerais de nickel exploités étaient : soit les arséniures et arsénio-sulfures de Saxe, Cornwall, Suède, Norvège, Hongrie, Pennsylvanie ; soit les minerais de cobalt nickélifères.

D'une part, la *nickéline* (nickel arsenical) forme des gisements importants : en Saxe (Schneeberg, Marienberg, Freiberg, etc.) ; à Allemont, en Dauphiné ; dans le Cornwall, etc. Avec elle, on trouve la chloanthite, la gersdorffite, etc.

[1] En Allemagne les usines produisant du nickel sont celles d'Iserlohn et d'Altena qui traitent des minerais étrangers.

[2] On sépare parfois de la garniérite la *nouméite* $(NiOMgO)^4Si^2O^{11}$, ou encore la *pimélite*, la *genthite*, qui semblent assez mal définies.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

D'autre part, les *minerais de cobalt* contiennent, presque toujours, une certaine quantité de nickel et la division qu'on peut faire entre les mines de nickel et les mines de cobalt filoniennes est, le plus souvent, toute artificielle. Pour extraire le cobalt, qui était récemment encore le produit essentiel, on soumet ces minerais à un grillage imparfait, au moyen duquel on cherche à oxyder le cobalt seul, tout en n'enlevant qu'une partie de l'arsenic. Lorsque la matière, ainsi grillée, est ensuite soumise, dans les pots de verrerie, à l'action dissolvante du silicate de potasse, les métaux autres que le cobalt, combinés avec l'arsenic, se précipitent à la partie inférieure, sous forme d'une poudre lourde et cristalline, d'aspect métallique, qu'on appelle le speiss et qui devient alors un véritable minerai de nickel.

2° Vers 1854, on a commencé à extraire une assez forte proportion de nickel des *pyrrhotines*, qui peuvent en renfermer de 3 à 5 p. 100 et dont les principaux gisements étaient alors en Suède, en Ecosse, à Dillenburg dans le Hanau et à Varallo, dans le Piémont. Les Etats-Unis s'alimentaient à leurs mines de Pennsylvanie. En moyenne, tous ces minerais, qui nécessitaient des procédés coûteux, ne tenaient guère au maximum que 2 à 4 p. 100 de métal.

3° Mais vers 1875, on a découvert et exploité (d'abord avec insuccès) le minerai tout spécial de la Nouvelle-Calédonie, la garniérite, qui contient jusqu'à 8, 10 et 12 p. 100 de nickel et se vend pratiquement aux teneurs minima de 7 p. 100 au minerai sec.

4° Enfin, depuis 1889, on est revenu, avec le développement des mines canadiennes, aux *pyrites nickélifères et cuprifères*, et, tout récemment, dans le même pays, on a recommencé à extraire du nickel des *minerais de cobalt*, exploités eux-mêmes pour leur teneur en argent.

d) ROLE GÉOLOGIQUE DU NICKEL

Quand on cherche la place naturelle du nickel dans la série métallogénique, l'idée vient aussitôt de le comparer, d'une part, au fer ; de l'autre, au cobalt. Ces deux rapprochements existent, ils sont incontestables, mais ils ne sont pas les seuls, ils ne se présentent pas toujours et, pour comprendre le rôle exact du nickel, il faut se rappeler toute une série d'autres associations, qui conduisent du type à affinités basiques les plus vives, à savoir le type des métaux natifs groupés avec le platine, jusqu'au type le plus acide, le type stannifère. C'est ce qui demande à être rappelé rapidement.

Tout d'abord nous allons voir le nickel se présenter comme un métal de profondeur, resté en inclusions, en ségrégations, ou au plus en produits de départ immédiats dans les magmas ultra-basiques.

C'est ainsi qu'il apparaît presque constamment dans les météorites, où l'on peut avoir 36 de nickel pour 64 de fer (Sainte-Catherine, Brésil).

De même, le fer natif de Cañon Diabolo (Arizona), aujourd'hui considéré comme une ségrégation, tenait 3 à 7 p. 100 de nickel.

A Awarua, sur la côte Ouest de l'île du Sud en Nouvelle-Zélande, un massif de péridotite à enstatite, en partie serpentinisée et analogue à celle qui fournit les garniérites de Nouvelle-Calédonie, présente des grains et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

particules de fer nickélifère, qui se sont rassemblés dans les alluvions des cours d'eau voisins. Ce minerai très spécial contient 67,63 p. 100 de nickel, 31,02 de fer, 0,70 de cobalt, 0,22 de soufre et 0,41 de silice[1].

L'association avec le platine correspond à ce caractère. Le platine natif de Nijni Taguilsk contient 0,75 p. 100 de nickel et, d'autre part, nous verrons que les pyrrhotines cupro-nickélifères de Sudbury au Canada renferment, d'ordinaire, un peu d'arséniure de platine. Des traces de platine ont également été signalées par Gueymard dans le groupe alpin des filons de cuivre gris et fer spathique d'Allevard, auxquels s'associe localement le nickel.

On remarquera que, dans les fers natifs nickélifères, ou dans les platines nickélifères, le cobalt n'intervient pas. Ce métal, dont le rôle n'est pas, autant qu'on le croit souvent, identique à celui du nickel, commence à jouer un rôle subordonné : soit dans les inclusions dont dérivent, par une concentration due à des altérations superficielles, les hydrosilicates de Nouvelle-Calédonie; soit encore dans les pyrrhotines nickélifères concentrées en gîtes de départ. Dans ces dernières, nous rencontrons, en outre, une association du nickel et du cuivre presque par parties égales, que nous allons voir se poursuivre dans toute une série d'autres gisements à caractère de plus en plus filonien. Les gisements d'inclusions de Nouvelle-Calédonie marquent, au contraire, un rapprochement du nickel et du chrome, qui ne se retrouvera plus ensuite.

Si nous passons de là à des types filoniens en commençant par les imprégnations diffuses de profondeur à types de filons-couches ou de falhbandes, nous voyons le nickel continuer à s'associer avec le cuivre, mais la proportion du cobalt augmenter. En même temps apparaissent toute une série de métaux ou de minéraux liés au groupe de l'étain : le bismuth (qui forme une combinaison définie avec le nickel), le molybdène, l'uranium, parfois des traces d'étain, la tourmaline très fréquente[2].

A mesure que s'accentue le groupement du cobalt, du cuivre et du bismuth, le nickel diminue de proportions. L'argent, au contraire, se développe. Et l'on aboutit finalement à un système de filons cobalto-cuprifères, souvent très riches en argent, parfois riches en or, qui semblent souvent liés à des manifestations éruptives récentes et relativement superficielles, dans lesquelles le nickel n'a plus rien à faire. Il est à noter que la formation nickélo-cobaltifère, avec ou sans cuivre, a généralement une gangue de carbonates à type basique, tandis qu'avec le développement du groupe cobalt-bismuth, la gangue devient quartzeuse.

Nous allons passer successivement en revue ces divers types de gisements, en commençant par les inclusions dans les péridotites, qui sont la source des minerais de Nouvelle-Calédonie, bien que la formation des

[1] 1890. Ulrich. *On the discovery... of the nickel iron alloy...* (Q. J. London, 46 p. 619-633).

[2] Le bismuth apparaît déjà à Dillenburg (Nassau) avec des hydrosilicates de nickel, à Fenegusibiri en Sardaigne, et devient un élément essentiel du groupe cobalto-cuprifère à Schneeberg, Tunaberg, etc. Le molybdène existe à Balmoral (Transvaal), à Skuterud, en Norvège, aux Chalanches en Dauphiné. L'étain est en traces à Sudbury, au Canada et à Querbach dans le Riesengebirge. La tourmaline existe surtout dans les gisements de cobalt de San Juan au Chili, et à Skuterud en Norvège, mais aussi dans les filons de nickel et cobalt de Dobsina.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

minerais exploitables soit là, en réalité, un effet de circulations aquifères récentes per descensum. Nous passerons ensuite aux pyrrhotines si directement liées aux gabbros ; puis aux fahlbandes et imprégnations diffuses ; enfin aux filons proprement dits.

A. HYDROSILICATES DE CONCENTRATION SUPERFICIELLE DANS LES PÉRIDOTITES — TYPE NOUVELLE-CALÉDONIE [1]

1° NOUVELLE-CALÉDONIE

Géologie générale. — L'île de la Nouvelle-Calédonie, qui mesure 400 km. de longueur et 50 km. de largeur en moyenne, forme, dans l'Océan Pacifique, une arête montagneuse émergeant de 1 000 m. au-dessus de fonds de 2 000 m. : arête déchiquetée, qu'entoure une ceinture de récifs coralliens (fig. 285).

Cette île paraît avoir subi un premier mouvement d'âge primaire, auquel est due l'orientation ordinaire des micaschistes perpendiculairement à son allongement si marqué. Puis elle a dû rester longtemps liée à l'Australie et à la Nouvelle-Zélande, pour se séparer de la première avant la fin du secondaire et de la seconde au début du crétacé. Des mouvements tectoniques importants ont dû alors déterminer l'arête topographique actuelle, dont le déchiquetage même accuse l'âge récent. Et, vers la même époque, a dû avoir lieu la mise en place des péridotites serpentinisées, qui constituent le gisement du nickel. Pour Glasser, cette mise en place serait l'effet d'un charriage ayant fait passer les serpentines d'origine plus ou moins lointaine par-dessus le crétacé, avec friction sur le soubassement. C'est une hypothèse que l'on est assez fréquemment amené à faire pour d'autres massifs serpentineux et que nous retrouverons notamment, à l'occasion du cuivre, pour Monte Catini, en Toscane.

On peut, dans les terrains de la Nouvelle-Calédonie, établir les grandes divisions suivantes.

1° Au Nord se trouve une série importante de micaschistes, schistes à glaucophane, à séricite, amphibolites, etc.

[1] Coll. Ecole des Mines, 1942. — 1867. GARNIER. *Essai sur la géol. et les ress. min. de la Nouvelle-Calédonie* (Ann. d. M., 6e, t. 12, p. 1). — 1876. HEURTEAU. *Rap. sur les Rich. min. de la Nouvelle-Calédonie* (Ann. d. M., 7e, t. 9, p. 232 à 435). — 1876. *Mines de nickel de la Nouvelle-Calédonie* (Cuyper, t. 39, p. 185). — 1877. BADOUREAU. *Métallurgie du nickel* (Ann. d. m., 7e, t. 12. p. 237). — 1878. RATTE. *Roches et gisements métallifères de la Nouvelle-Calédonie.* — 1880. LUC LÉO. *Le nickel en 1880 et la Nouvelle-Calédonie.* — 1885. PORCHERON. *Nickel en Nouvelle-Calédonie* (Ind. min., 2e, t. 14, p. 89). — 1885. GARNIER. *Notice histor. sur la déc. du nickel en Nouvelle-Calédonie* (Ind. min., 2e, t. 14, p. 126). — 1887. GARNIER. *Les gisements de cobalt, chrome et fer à la Nouvelle-Calédonie* (Soc. des ing. civils). — 1889. LEVAT (Association pour l'avancement des sciences 29 septembre). — 1892. LEVAT. *Progrès de la métallurgie du nickel* (Ann. d. M., 9e, t. 1). — 1892. PELATAN. *Les mines de la Nouvelle-Calédonie* (Génie Civil). — 1901. PIROUTET. *Note prél. sur la géologie d'une partie de la Nouvelle-Calédonie* (B. S. G. F., 4e sér., t. 3, p. 155). — 1904. GLASSER. *Rapport sur les Richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie* (1 vol. de 560 p. et 6 pl. extrait des Annales des mines). — Rapports divers de la Société le Nickel et de la Société le Ferronickel.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

2° Une série incomplète, allant du précambrien au tertiaire, se prolonge sur toute la côte Ouest de l'île. Elle comprend du carbonifère, du trias, du jurassique et une zone de crétacé à charbon mise en évidence sur notre carte.

3° Une immense formation de péridotites à enstatites serpentinisées

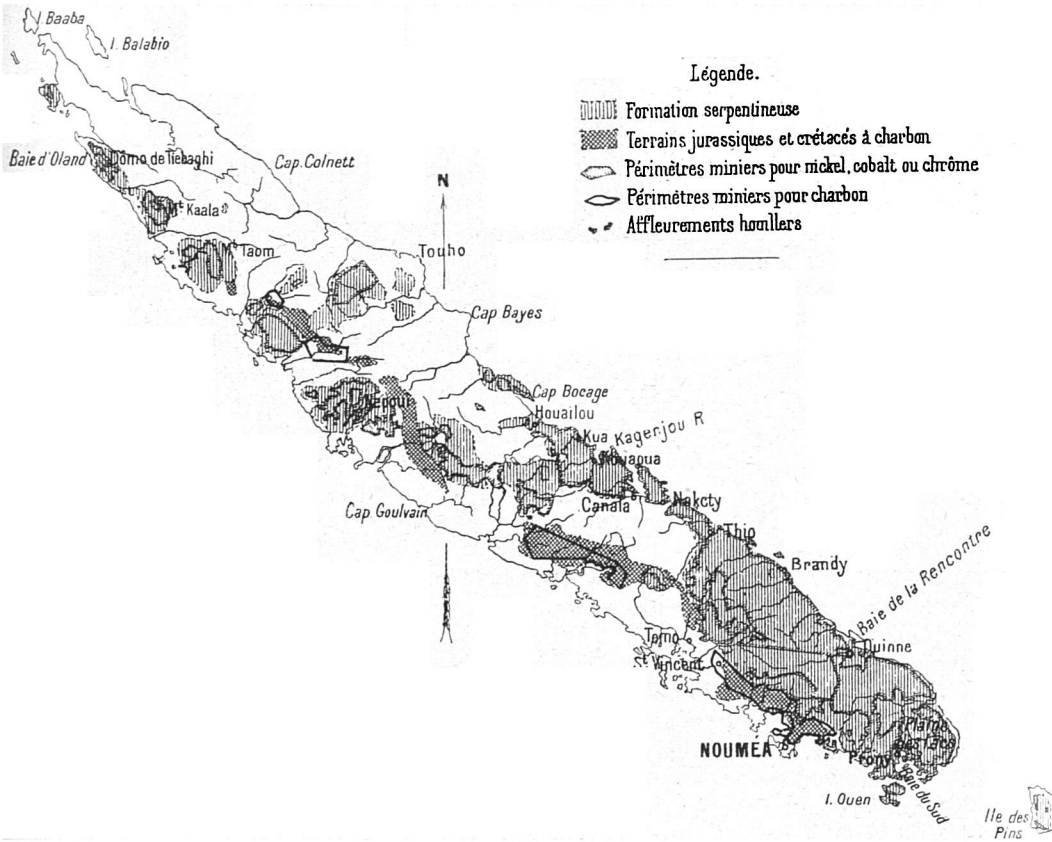


Fig. 285. — Carte minière de la Nouvelle-Calédonie, d'après Glasser. Echelle au 1/1 000000e.

occupe un tiers de l'île sur 600 000 km² de superficie, notamment tout le Sud.

Cette formation serpentineuse, qui est la formation nickélifère et sur laquelle nous devons donc insister, donne des roches accidentées avec maigre végétation et de grandes masses caractéristiques d'un résidu ferrugineux, dit argile rouge.

A l'analyse, ces roches se montrent ultrabasiques, avec des traces constantes de nickel, cobalt et manganèse et des inclusions de fer chromé.

Il est à noter qu'elles sont dépourvues de chaux et, par conséquent, de pyroxènes clino-rhombiques. Ce sont des péridotites grenues très magné-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

siennes et peu ferrifères, plus ou moins chargées d'enstatite ou de bronzite (Harzburgites passant parfois à des dunites).

Ces roches recouvrent les terrains sédimentaires, crétacé compris, en s'apliquant sur elles suivant un plan qui coupe transversalement leurs strates sans aucun métamorphisme, mais parfois avec une sorte de laminage. Cette disposition a fait supposer à Glasser, comme nous l'avons dit plus haut, que la formation serpentineuse avait pu être, après solidification souterraine et serpentinisation plus ou moins avancée, jetée par un charriage sur le sol de la Nouvelle-Calédonie.

L'altération superficielle a porté après coup sur ces roches, péridotites ou serpentines, en commençant par les craqueler suivant un réseau parallélépipédique, qui a ensuite donné lieu à un système de veinules quart-

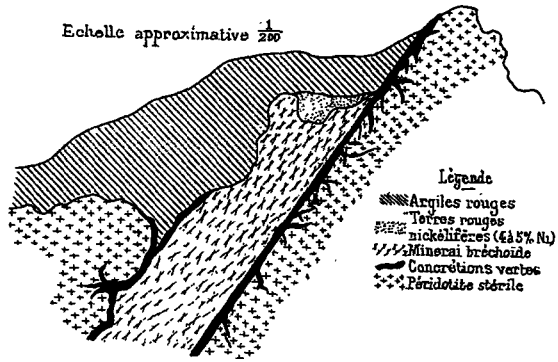


Fig. 286. — Croquis d'un chantier de la mine de Prise de Rivoa.

zeuses, ou ailleurs, un peu plus tard, à un réseau utilisable de veinules nickélifères. Dans ce stade ultérieur de latéritisation, il s'est contitué une terre rouge d'aspect argileux, empâtant des débris divers de la roche primitive, qui recouvre les pentes serpentineuses partout où elle a pu se fixer, en s'accumulant par endroits quand il se rencontre une dépression de la surface, et qui constitue alors ce qu'on a appelé une « vasque » (fig. 286). Cette terre, dans laquelle il entre à peine quelques centièmes d'argile, est essentiellement constituée par du sesquioxyde de fer légèrement chargé d'oxydes de manganèse, nickel, cobalt et chrome : tous ces oxydes intervenant pour les deux tiers ou les trois quarts dans la composition du mélange. La formation de cette terre rouge s'explique aisément, sans aucune intervention filonienne ou hydrothermale, par le simple entraînement de la magnésie à l'état de sels solubles. Une partie de cette magnésie, associée avec le nickel dont la roche contenait toujours une proportion sensible, s'est, à ce moment, déposée dans certaines fissures, où s'est produite la garniérite qui constitue les gisements exploités [1]. En même temps, le cobalt et le manganèse formaient en s'oxydant les asbolites, dont nous aurons à reparler au chapitre du cobalt et les grains inso-

[1] Nous avons, au chapitre de la magnésie (tome 2, p. 216), examiné ces phénomènes de dissolution, qui aboutissent, en Nouvelle-Calédonie comme dans l'Eubée, à donner des giobertites.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lubles de fer chromé s'isolaient, en préparant les minerais détritiques que nous avons déjà étudiés [1].

Minerais de nickel. — Les premières découvertes de nickel en Nouvelle-Calédonie ont porté d'abord sur des filonnets verts de garniérite, dont l'aspect appelait aussitôt l'attention. Peu à peu, on s'est rendu compte qu'il existait une autre matière silicatée, presque aussi riche en nickel, de couleur variant entre le brun chocolat et le jaune brun, que l'on a appelée nickel-chocolat. Puis on a été amené à utiliser toute une série de minerais, les uns pulvérulents ou terreux, les autres ressemblant à des concrétions siliceuses et de couleurs allant du vert très pâle au vert foncé ou au brun, que l'on a appris par l'analyse chimique à distinguer, même dans des serpentines complètement altérées à aspect terreux, où leur présence ne se signale plus du tout au premier abord. On sait aujourd'hui que ces dépôts nickélifères se rencontrent aussi bien dans les péridotites très fraîches que dans les péridotites très serpentinisées, dans les roches très chargées en enstatite comme dans les dunites. Il n'est plus guère douteux que la formation de ces minerais nickélifères soit un phénomène superficiel, cessant toujours à une profondeur restreinte de 80 à 100 m. au maximum [2] (de telle sorte que l'exploitation a toujours lieu maintenant à ciel ouvert), et provenant uniquement d'une concentration opérée, pendant la latéritisation, sur le nickel d'abord disséminé dans les péridotites [3]. Il n'y a plus rien à retenir des théories qui avaient un moment voulu faire intervenir des phénomènes profonds, des sources thermales, ou une certaine dessiccation des « argiles rouges » ayant entraîné une fissuration spéciale à leur périphérie.

Le nickel, disséminé dans les péridots et les enstatites des péridotites ou des serpentines, leur a été emprunté en dissolution par les eaux de surface et a été recristallisé, ou dans les fissures même de la roche altérée (système en damier), ou dans des diaclases de roches voisines, ou enfin dans de véritables fractures mécaniques ayant un caractère presque filonien, mais où la formation per descensum se coince en profondeur.

On doit aussitôt noter, à l'occasion de ces hydrosilicates, la facilité toute spéciale de leur remise en mouvement, qui explique, en même temps que leur mode de dépôt ordinaire, certaines dispositions anormales dues à des remaniements postérieurs. On a, par exemple, trouvé, dans d'anciennes galeries de mines datant des premiers temps de l'exploitation, de véritables stalactites nickélifères ou des croûtes concrétionnées de graniérite et quelques-uns des minerais secondaires ainsi formés empâtaient des restes d'insectes actuels.

Nous ajoutons, d'après Glasser, quelques indications sur les principaux gisements nickélifères, dont on trouvera plus loin la part dans la production actuelle [4]. Ces gisements présentent toute la variété de formes que comporte leur origine exposée plus haut.

[1] Tome 2, pages 258 à 261.

[2] Glasser. *Loc. cit.*, p. 155. — Le filon de Boa-Kaine (voir p. 583) a dépassé 100 m.

[3] On a signalé une seule fois quelques mouches de millérite (Glasser, *loc. cit.*, 156).

[4] Tome 2, page 585.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le plus ancien groupe est celui de la côte Sud-Est, où l'on a d'abord travaillé à Houailou et à Canala, puis sur le plateau de Thio. C'est là que se trouve encore, à Thio, Canala et Kouaoua, l'important groupe de travaux de la Société le Nickel.

Les exploitations du plateau de *Thio* peuvent être prises comme type de minerais compacts, verts et bruns, en filons et filonnets dans les cassures, tantôt larges, tantôt fort minces, des péridotites. Dans les fissures larges, on peut voir des concrétions zonées de plusieurs centimètres d'épaisseur au milieu d'une péridotite craquelée et elle-même imprégnée de nickel, sur une largeur sensible. La fig. 287, montre, au contraire, un système de fissures minces en concrétions silicatées dans une péridotite altérée dont elle met en évidence les variations de teneur. Ici, la pénétration du nickel dans la roche encaissante se réduit à presque rien.

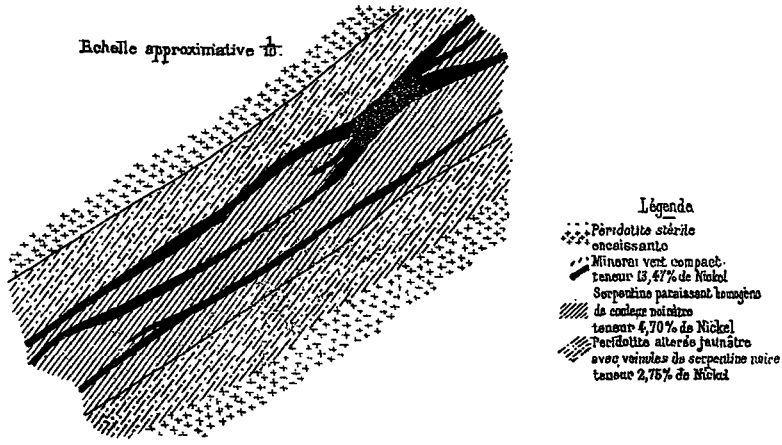


Fig. 287. — Croquis d'un filonnet avec minerai vert compact, mines de Thio.

A la mine des *Bornets*, on exploite, par larges fronts de taille en gradins, un minerai bréchoide complexe cimentant des blocs de serpentine sous l'argile rouge, avec enduits verts sur les faces et dans les fissures de ces blocs.

A *Canala*, on a exploité longtemps le « filon » de Boa-Kaine, dont la fig. 288 donne la coupe. Ce filon a pu être suivi sur 150 m. de long et plus de 100 m. de hauteur verticale. Il était parfois large de 3 à 4 m. et se subdivisait en assez nombreuses cassures.

A *Kouaoua*, on a des blocs de serpentine noyés dans des matières poudreuses ou terreuses à teneurs variables, avec enduits verts sur les blocs.

D'autres exploitations existent sur la côte Ouest, généralement plus récentes, depuis le Mont Kaala au Nord jusqu'à la vallée de la Dumbea, au Sud, près de Nouméa.

Dans le groupe de *Kaala*, on a parfois des concrétions vertes dans des fissures de la roche et dans des sortes de cheminées, ailleurs des produits décomposés, les uns encore consistants, les autres terreux de tous genres et de toutes couleurs.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A *Népoui*, qui s'est beaucoup développé dans ces dernières années, on a d'abord exploité une grande tache de minéralisation longue de 200 m., où des remplissages pulvérulents et terreux entouraient des blocs isolés de péridotite stérile. Dans les carrières dites Pierrette, où la péridotite est particulièrement fraîche, on a eu, autour des blocs de cette péridotite, une minéralisation particulière par couches concentriques altérées, formées de plaquettes jaune orangé que séparaient des enduits silicatés verts, le tout noyé comme d'habitude dans un remplissage de poudres rougeâtres et jaunâtres.

Industrie. — Les exploitations de Nouvelle-Calédonie ont commencé en 1875 par la recherche des minerais verts et riches en galeries souterraines. En 1879, on a installé une première usine de fusion, qui a duré jusqu'en 1885 : période de grande crise amenée par la surproduction, où le cours des minerais à 10 p. 100, qui avaient valu 1 000 fr. la tonne, tomba à 200 fr. En 1887, la prospérité reprit avec le développement des usages du nickel. On commença à exporter des minerais à 7-8 p. 100 et l'on organisa une seconde usine de fusion à Ouroué près de Thio. A partir de 1889, la concurrence du Canada commença à entraver cet essor. On continua quelque temps l'extraction au delà des demandes (1890-1892) ; mais, en 1896, il fallut arrêter presque complètement les travaux. En même temps, le cours du minerai sec à 7 p. 100 tombait sur place de 125 fr. en 1888 à 35 fr. en 1897 (0,50 fr. par kilogramme de métal). Depuis 1897, cet état de choses s'est régularisé et les exportations ont pu se maintenir sans amener une baisse de prix nouvelle. En 1910, la Société le Nickel a construit de nouveau une importante usine de fusion à Thio. Dès l'année 1910, on a exporté 768 t. de matte et l'on doit prochainement traiter 120 000 t. de minerai de nickel par an pour obtenir de la matte à 55 p. 100 de nickel. Cette industrie, qui semble rentrer dans une phase plus favorable, a occupé 4 100 hommes en 1910.

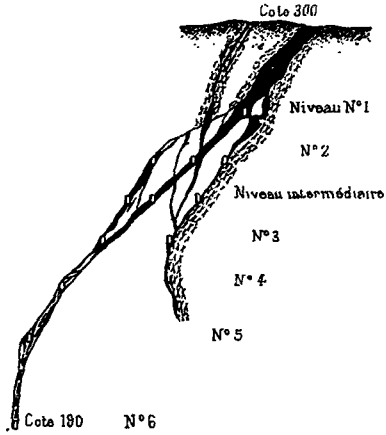


Fig. 288. — Coupe et plan partiel des anciens travaux de la mine de Boa-Kaine à Canala.

Actuellement, les produits livrés par les mines, ou plutôt par les carrières à ciel ouvert, sont toujours, étant donné les frais de transport considérables que ces minerais auront à subir, des minerais tenant au moins 6,5 à 7 p. 100 de nickel après dessiccation à 100°. Comme les minerais exportés tiennent constamment 20 à 30 p. 100 d'humidité, la teneur pratique des minerais exportés est de 5,2 à 5,5 p. 100. Cela amène, dans les mines, à opérer des mélanges entre diverses catégories, les unes plus pauvres, les autres plus riches, dont la teneur est déterminée par un échantillonnage soigné. Le cours des minerais, qui était en 1902 de 0,50

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

à 0,70 fr. par kilogramme de métal contenu a été, en 1910, sur place, de 0,55 à 0,65 fr. pour la même unité : soit 25 à 34 fr. la tonne pour le minerai courant humide tenant de 6,6 à 7 p. 100 avec 25 p. 100 d'humidité.

Les exploitations de nickel sont nombreuses et pourraient l'être plus encore, puisque le nickel existe partout dans la formation serpentineuse qui couvre un tiers de l'île. Les principaux travaux portent sur les anciens centres de la côte Est à Thio, Canala, Kouaoua et Koné, un peu aussi sur ceux des environs de Nouméa. Plus récemment, on a mis en exploitation quelques points de la côte Ouest, depuis le mont Kaala jusqu'à Népoui, notamment à Népoui. Enfin, on exploite de plus en plus les gisements de minerai riche, mais peu accessibles, au Sud de la côte Est. La subdivision entre les principales exploitations a été, en 1901 :

Côte Ouest	Népoui	36 985
	Mine Nouvelle Espérance, au mont Ouazangou	18 000
	Mine Kataviti à Koné	13 669
	Mine des Barbouilleurs à la Dumbéa	3 613
Côte Est	Mines de Thio	41 900
	Mines de Canala	5 800
	Mines de Kouaoua	3 390
	Total, avec divers	133 676

Les frais d'abatage sont d'environ 5 à 15 fr. par tonne de minerai humide (7,50 à 20 fr. par tonne sèche). Il faut, en effet, par tonne sèche, manipuler de 5 à 13 m³ de stérile. Le prix de revient complet se calcule ainsi, par tonne de minerai sec, d'après Glasser :

Abatage et triage	8 à 30 fr.
Transport sur carrières	3 à 4,50
Travaux préparatoires	4 à 20
Ensachage (s'il y a lieu)	2,50 à 3

Ce qui, au total, peut faire de 15 à 50 fr. la tonne de minerai sec marchand.

Il faut ajouter 10 à 15 fr. pour le transport par câble et voie ferrée et le chalandage et 4 à 6 fr. pour frais généraux et amortissement.

On arrive ainsi au total à un prix de revient minimum de 30 à 35 fr.

Les deux grandes difficultés que rencontrent ces exploitations sont le recrutement de la main-d'œuvre, depuis que la main-d'œuvre pénale a été supprimée, et les frais de transport en Europe (Havre, Glascow ou Rotterdam).

Le fret seul, qui représente 30 à 40 fr. par tonne de minerai humide (48 à 55 fr. par tonne de minerai sec), suffit à doubler la valeur du nickel pris sur place. Aussi a-t-on essayé à diverses reprises, et tout récemment encore, de faire sur place une première fusion qui doit être sulfurante, peut-être avec addition des minerais de cuivre représentés dans le Nord de l'île. On a encore songé à un traitement électrolytique, qui, jusqu'ici, n'a pas paru praticable. Ce traitement sur place, outre l'économie qu'il pourrait comporter, permettra peut-être d'utiliser toute une catégorie de minerais entre 5 et 7 p. 100, actuellement négligés.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

2° AUTRES GISEMENTS DE GARNIÉRITE

Des garniérites, analogues à celles de Nouvelle-Calédonie, ont été signalées à diverses reprises en d'autres pays : les unes avant la découverte des gisements qui viennent d'être décrits, les autres depuis lors. Aucune de ces formations ne paraît avoir d'importance industrielle. C'est pourquoi nous nous contenterons de les citer.

Silésie. — En Silésie[1], on a fait un petit essai récent près de Frankenstein, sur de la pimélite (hydrosilicate d'alumine et de nickel). On a là, dans une serpentine, des fissures talqueuses avec salbande rougeâtre témoignant d'un fort laminage, et, dans celles-ci, des veines ayant au plus quelques centimètres, où la pimélite s'associe à la magnésite, à l'opale et au chrysoprase. En 1907, on a extrait à la mine Martha près de Gläsendorf, 7537 t. de minerai pouvant renfermer une centaine de tonnes de nickel (teneur de 1,90 p. 100).

Malaga (Espagne). — En Espagne, près de Malaga, on a signalé, de même, des garniérites tenant 9 p. 100 de nickel[2].

D'après un travail de Gillman, cette garniérite passerait en profondeur à une norite nickélifère renfermant, tantôt des grains de nickéline et de fer chromé disséminés au milieu des éléments essentiels, plagioclases et pyroxènes rhombiques, tantôt de la nickéline moulant de l'enstatite ou de l'augite. Cette conclusion, qui ne paraît pas pouvoir s'étendre aux gisements de Nouvelle Calédonie, tendrait à montrer que la sécrétion latérale de garniérite a pu se faire, comme on devait s'y attendre, en partant de gisements nickélifères divers, inclusions, ségrégations, et sans doute, ailleurs, filons proprement dits.

Rewdinsk (Oural). — La garniérite (variété Rewdinskite) a été trouvée encore en *Russie*, à *Rewdinsk*, près d'Iékaterinenbourg,[3], dans l'Oural, comme élément accessoire d'un gisement filonien ; elle donne un rendement qui oscille autour de 12 p. 100 de nickel.

Là on a affaire à une sorte de filon vertical de 2 m. de puissance, traversant des chloritochistes et de la serpentine, filon dont le remplissage est formé de quartz carié, garniérite et chrysoprase (calcédoine teintée en vert par le nickel). Les cavités du quartz renferment une argile plastique empâtant des nodules d'annabergite (arséniate hydraté de nickel) qui peuvent atteindre la grosseur du poing.

Douglas (Orégon). — Aux Etats-Unis, on a trouvé, en 1881, de la garniérite très riche sur la montagne Piney, dans le comté de Douglas (Orégon méridional), au milieu de péridotites et de serpentines[4].

[1] Beck. *Loc. cit.*, t. 1, p. 517, avec bibl.

[2] 1896. Gillmann. *Notes on the ore deposits of Malaga serpentines* (Ins. of min. and met. London, janv.; C. R. : Z. f. pr. G. 1897, p. 88).

[3] 1866. Müller. (B. u. H. Z., p. 65). — 1891. Karpinsky. (Gorni Journal, n° 10 ; en russe).

[4] 1888. Clarke. *Some nickel ores from Oregon.* (Bull. of the New-York State Museum of natural History, Albany. — 1896. Austin (C. R. : Z. f. p. G., p. 203).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Californie. — En Californie également, la garniérite est associée au cinabre dans les minerais de New-Almaden, dont les filons traversent des roches identiques à celles de la Nouvelle-Calédonie : serpentines et schistes serpentineux.

Nouvelle-Zélande. — Enfin, en Nouvelle-Zélande, A. Pond a dit avoir constaté la présence du nickel dans un grand nombre de roches vertes du district des Auklands, qui tiendraient, d'après lui :

	Ni p. 100
1. Serpentine de Makurangi	0,49
2. — de Manukau	0,47
3. Greenstone de Val Papakura	0,26
4. Argile verte onctueuse de Waipu	0,11
5. Serpentine de Coromandel	traces

Ces minerais de nickel, disséminés dans une formation serpentineuse, ont été comparés à ceux de Nouvelle-Calédonie.

B. PYRRHOTINES NICKÉLIFÈRES ET CUPRIFÈRES — TYPE CANADA

1° CANADA[1]

On exploite, depuis 1889, au Canada, dans le district d'Ontario, autour de Sudbury, sur le Canadian Pacific des gisements de nickel et de cuivre considérables, dont le cube, d'après un rapport officiel de 1890, n'aurait pas été moindre de 650 MT. Ces pyrrhotines, associées à des norites, constituent, suivant toute apparence, un type de départ immédiat effectué en profondeur, dont nous ne serons pas surpris de retrouver l'équivalent (plus pauvre) dans d'autres plates-formes primitives à érosion profonde, par exemple en Scandinavie. L'association du nickel et du cuivre y est très caractéristique.

Nous verrons d'ailleurs ultérieurement, au chapitre du cobalt, qu'une région voisine de Sudbury, le district de Cobalt (fig. 289), présente le type filonien, qui peut être considéré comme le cas extrême de telles ségrégations latérales, sous la forme de filons cobalto-argentifères, où le nickel, quoique jouant un rôle industriel secondaire, n'en est pas moins assez abondamment représenté[2].

[1] 1890. *Sudbury Nickel deposits* (Report by experts to the U. S. governement). — 1890. E. D. Peters. *Sudbury ore deposits* (T. Am. I. M. E., t. 18, p. 278). — 1891. Bell. *The nickel and copper deposits of Sudbury district* (Bul. geol. Soc. of Am., 2, p. 125-137). — 1891. Garnier. *Mines de nickel, cuivre et platine du dist. de Sudbury* (Mém. Soc. Ing. civ., mars). — 1892. Levat. *Progrès de la mét. du nickel* (Ann. d. M., 9e, t. 1, p. 164). — 1894. Mickle. *The rel. bet. pyrrhotite and the accomp. rocks of the Sudbury district* (Sudbury journal). — 1897. Walker. *Geol. a. petr. stud. on the Sudbury nickel district* (Q. J. geol. Soc., 53, n° 209, p. 40-65). — 1903. Dickson. *The ore dep. of Sudbury* (Tr. Am. Inst., fevr. 65 p.). — 1903-07. Coleman. *The Sudbury Nickel dep.* (Ann. Rep. Bur. of mines Ontario, 1903, p. 235-299 ; *ibid.*, 1905, t. 14, 3e partie, Toronto, avec carte et figures). — *The Sudbury laccolithic Sheet* (J. of geol. t. 15, n° 8, Chicago, p. 759-782. — *Mineral industry de Rothwell* et *Mineral Resources* (volumes annuels).

[2] Voir plus loin, tome 2, p. 614 et 615. — On peut également noter la présence de traces de nickel dans les minerais de cuivre du Lac Supérieur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

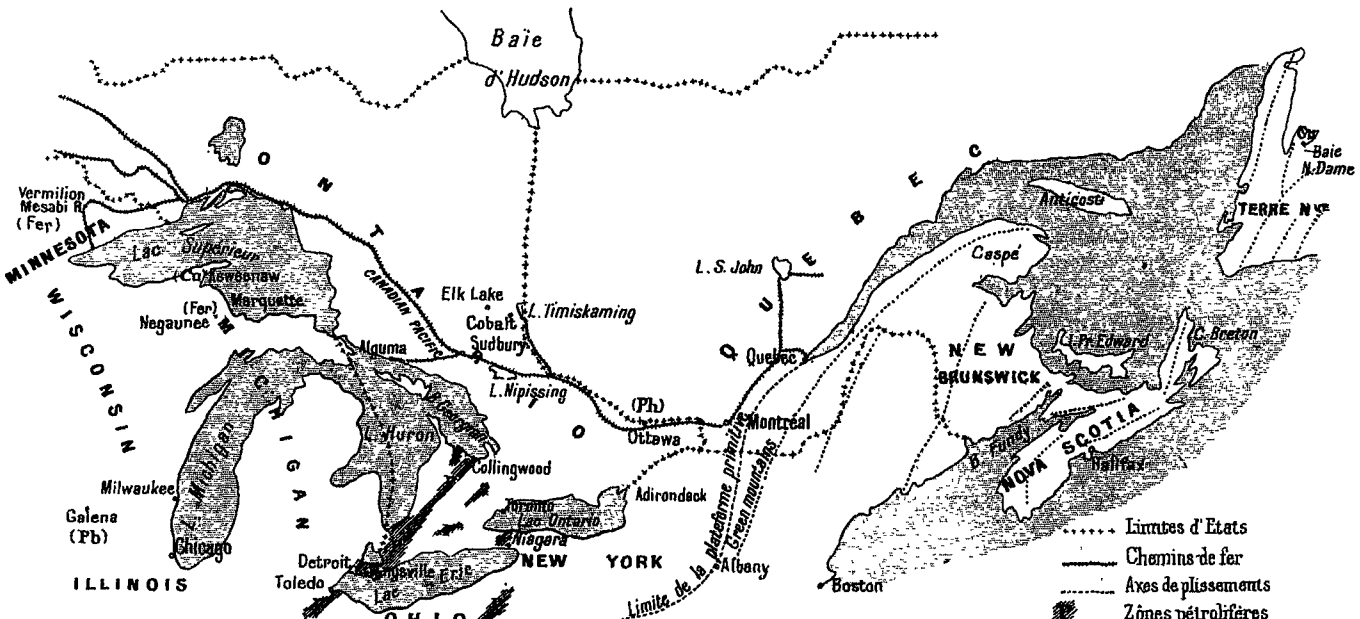


Fig. 289. — Carte des gites métallifères et des zones pétrolifères de la région des Grands-Lacs.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

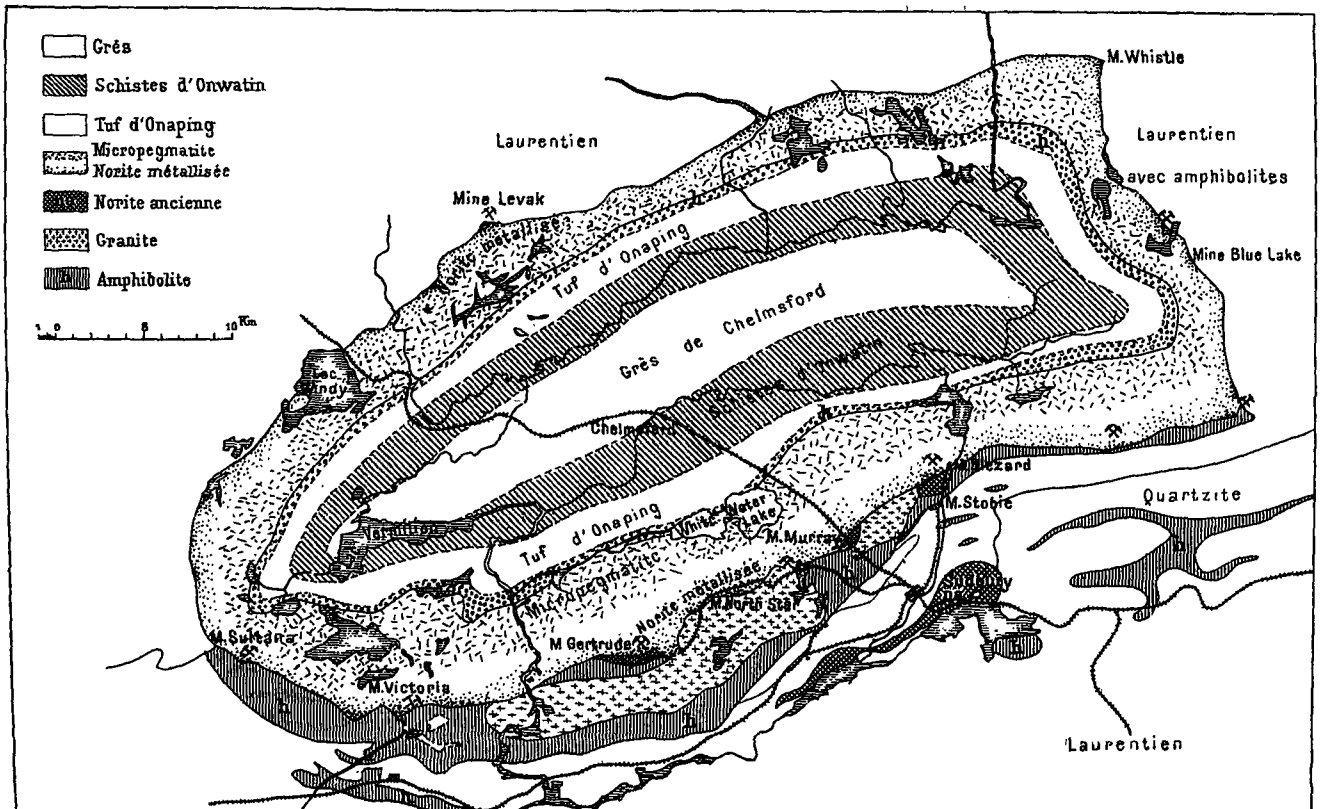


Fig. 290. — Carte schématique du district de Sudbury, d'après A.-P. Coleman.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

D'après les dernières études de Coleman (qui présentent peut-être les faits sous une forme un peu trop systématisée), on a, près de Sudbury, une grande cuvette synclinale N.E.-S.W, longue de 54 km., large de 24, dont le fond est formé par des gneiss laurentiens, des schistes, grauwackes, quartzites, schistes à hornblende et norites anciennes, tandis que la partie supérieure et centrale est constituée par les tufs d'Onaping et des schistes. Entre ces deux groupes s'intercale une formation éruptive, qui commence par une norite métallisée (*n*) et se continue, avec passage progressif, par un granite à micropegmatite (*mp*) provenant sans doute du même magma. Suivant Coleman, cette formation serait rigoureusement interstratifiée et la disposition synclinale résulterait du vide laissé en profondeur par le déplacement de ce magma éruptif. Cette hypothèse nous paraît fort peu vraisemblable. Le granite à micropegmatite et la norite métallifère lancent nettement, et jusqu'à 5 km. de distance, des apophyses dans les terrains superposés, auxquels ils sont donc postérieurs : apophyses sur lesquelles se trouvent les mines les plus profondes du dis-



Fig. 291. — Coupe transversale du bassin nickélifère de Sudbury, d'après A.-P. Coleman.

gn, gneiss laurentien. — *gs*, grauwacke et schistes. — *na*, norite ancienne. — *q*, quartzite. — *h*, schiste à hornblende. — *gr*, granite. — *n*, norite métallifère. — *mp*, micropegmatite. — *t*, tuf d'Onaping. — *s*, schiste d'Onwatin. — *sc*, schistes de Chelmsford. — La longueur de la coupe représente 45 km.

trict. La formation métallifère apparaît ainsi en îlots dans les terrains du toit, par exemple à Copper Cliff. Nous voyons donc là beaucoup plutôt une intrusion de profondeur assimilable aux pénétrations granitiques[1].

La roche métallifère de Sudbury est une norite (labrador, hypersthène, enstatite, un peu de diallage, olivine rare, hornblende en partie secondaire). Tantôt on trouve des minerais disséminés dans cette roche ; tantôt, au contraire, ces minerais, prenant le rôle prédominant, moulent les silicates et y pénètrent. Le pyroxène est alors fréquemment ouralitisé et l'hornblende secondaire s'imprègne de minerai.

Ces minerais comprennent : pyrrhotine dominante avec 2-5 p. 100 de nickel et 0,05 à 0,1 de cobalt ; chalcopyrite et pyrite rare, également un peu nickélifères ; accessoirement, fer titané. D'après Dickson, le nickel est à l'état de Pentlandite (Fe,Ni)S, qui peut s'isoler en gros cristaux à clivage octaédrique. La millérite (NiS) n'apparaît que comme produit secondaire.

La proportion des métaux utilisables est très variable sans qu'on en voie la raison théorique : égalité de cuivre et de nickel à Victoria Mine ; 2 de nickel pour 1 de cuivre aux mines Dominion Elsie et Murray ; 3 à 4 pour 1 aux mines Gertrude et Creighton ; ailleurs, au contraire, deux fois plus de cuivre que de nickel, etc. Il existe, en outre, une certaine proportion de platine et d'iridium à l'état d'arséniure. Ainsi la matte de la mine Orford contient 14 gr. de platine par tonne. Et, d'autre part, on

[1] La norite est recoupée par des granites et des diabases à olivine sans rapport avec la minéralisation.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

voit apparaître des traces d'étain, comme cela se produit si souvent dans les gîtes de profondeur.

Les grandes masses compactes de minerais se trouvent là où le contact de la norite avec les schistes sous-jacents forme des poches. Par exemple, la mine Creighton présente un ciel ouvert de $45 \times 60 \times 19$ m. et le minerai y a été reconnu par sondages jusqu'à 120 m. de profondeur. On en a extrait près de 500 000 t. Sur les apophyses lancées par la norite se trouvent les mines les plus profondes du district : la Victoria, qui a dépassé 167 m.; la Copper Cliff, qui est connue jusqu'à plus de 300 m.

Industriellement, l'exploitation du cuivre est très ancienne dans ce district (mine Copper Cliff). La présence du nickel associé au cuivre fut reconnue vers 1860; mais la grande production n'a commencé qu'en 1889.

L'exploitation se fait soit par mines souterraines, soit à découvert.

Le minerai extrait revient à environ 15 fr. la tonne dans les exploitations souterraines. Il subit ensuite un grillage qui coûte 2,50 fr. et une fusion qui s'opère dans des water-jackets en tôle d'acier de 3 mm., de forme elliptique et d'une seule pièce, depuis le creuset jusqu'à la porte de chargement. La fusion d'une tonne de minerai coûte de 8 à 9 fr. : la consommation de coke étant de une tonne pour une tonne de matte. On arrive ainsi à une matte tenant de 16 à 18 p. 100 de cuivre et 19 à 23 p. 100 de nickel avec 16 de fer, qui doit encore subir une concentration au convertisseur Manhés jusqu'à élimination du fer, une fusion au four à cuve avec sulfate de soude et enfin une séparation électrolytique assez coûteuse du cuivre et du nickel. Le nickel obtenu, moins pur que celui de Nouvelle-Calédonie, retient d'ordinaire 0,8 à 0,9 de cuivre, un millième d'arsenic et un demi-millième de phosphore.

Le district de Sudbury a produit, en 1910, 18 600 t. de nickel contre 13 900 t. en 1909, avec 7 561 t. de cuivre en 1908, 7 800 en 1909, 9 600 en 1910. La teneur moyenne des minerais traités était, en 1904, de 4,58 p. 100 de nickel et 2,41 p. 100 de cuivre. Le nombre des hommes employés est de 1 700. Les principaux producteurs sont, nous l'avons dit, la Canadian Copper Cy, qui exploite le gisement, surtout nickélifère, de Creighton et la mine de Crean Hill, riche en cuivre; puis la Mond Nickel Cy à Victoria Mines.

Au *Canada* également, la pyrrhotine nickélifère est connue, depuis assez longtemps, à *Orford*, dans une roche serpentineuse[1], et à *Sterry-Hunt*, dans un calcaire magnésien jugé de l'époque huronienne. Ce dernier dépôt a près de 2,70 m. de puissance et les minerais à gangue calcaire y tiennent de 3 à 4 p. 100 de nickel. Le nickel y est associé avec de la blende et du fer chromé.

2° AUTRES GISEMENTS DE PYRROTHINE NICKÉLIFÈRE

Est des Etats-Unis[2]. — On connaît, en divers points de la région Est des Etats-Unis, des lentilles de pyrrhotine nickélifère intercalées dans les

[1] 1873. W.-E.-C. Eustis *The nickel ore of Orford, Québec* (M. E., t. 6, p. 208).

[2] 1866. H. Credner. *Anthony's Nose* (B. u. H. Z., p. 17). — 1870. Wharton. *Anal. of nickel ore from the Gap mine* (Phil. Acad. Sc., p. 6). — 1893. Kemp. *Ore deposits*, p. 270.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

gneiss, et analogues à celles du Canada, mais sans importance actuelle, par exemple à Lowell (Massachusets) Chatham et Torrington (Connecticut, Anthony's Nose (New-York) et surtout à la *mine Gap* (comté de Lancaster, en Pennsylvanie). Ce dernier gisement forme une imprégnation de 2 à 10 m. sur le bord d'une roche amphibolique (ou d'un gabbro) intercalée dans les micaschistes. On y a trouvé un peu de millérite.

De la pyrite nickélifère est associée aux minerais de plomb du Missour S.-E. Les minerais de cuivre du Lac Supérieur contiennent également un peu de nickel.

Pyrrhotines nickélifères de Scandinavie[1]. — Avec des conditions tectoniques analogues à celles du Canada, nous retrouvons, en Norvège, des

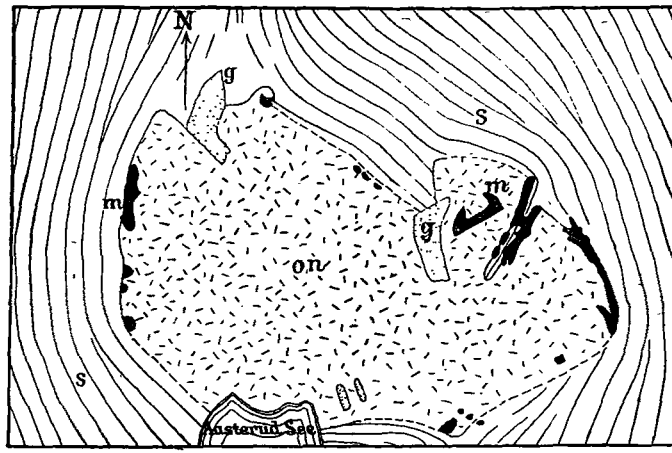


Fig. 292. — Plan schématique de la mine Erteli, d'après J. Vogt.
S. schistes cristallins. — *on*, norite à olivine et autres variétés de norite. — *g*, granite. — *m*, minerai.

gisements pareils, dont l'importance industrielle est minime, mais dont l'étude théorique a été remarquablement faite par J. Vogt.

Il existe, en ce pays, d'assez nombreux massifs éruptifs de gabbro, intercalés au milieu des gneiss et schistes cristallins dans des conditions qui avaient pu les faire prendre autrefois pour des sédiments dynamométamorphisés. Ces gabbros, qui empâtent parfois des fragments des schistes encaissants, ont dû être primitivement des gabbros à olivine ophitiques et des norites pouvant elles-mêmes contenir de l'olivine. Ce sont ces norites, à rapprocher des roches précédemment rencontrées au Canada, qui renferment surtout les minerais, très généralement concentrés à leur périphérie comme le montrent les croquis ci-joints (fig. 292 et 293).

Ces minerais, identiques à ceux du Canada, sont : 1° des pyrrhotines

[1] 1887. SANTESSON. *Nikkelmalmfyndigheten vid Klefva* (Geol. Fören. Forh., n° 107, p. 66-73). — 1892. VOGT. *Nickkelforekomster og nikkelproduction* (Norges Geol. undersögelse). — 1893. VOGT. *Bildung von Erzlagerstätten durch Differentiations Prozess in basischen Eruptivmagmata* (Z. f. pr. G., p. 125-143, 257-284, avec bibl.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

renfermant de 2 à 5 p. 100 de nickel avec un peu de cobalt; 2° des chalcopyrites et pyrites légèrement nickélifères; accessoirement, du fer titané. Ils commencent par être disséminés dans la roche, mais se concentrent sur sa périphérie en masses qui atteignent 10 à 300 m. de diamètre, remplissant des bâillements du terrain et lançant des apophyses latérales. Une coupe théorique de Meinkjär, à Bamle (fig. 293), montre bien la façon dont le minerai se rassemble et, dans le gneiss voisin, la tendance à l'interstratification des apophyses latérales. Cette disposition est en faveur d'un départ plus complet que la simple différenciation magmatique admise par J. Vogt. D'autre part, Beck a fait remarquer l'englobement fréquent par le minerai de silicates corrodés et l'ouralitisation habituelle de la roche au voisinage des amas métallifères (qui se rencontre également au Canada) comme des preuves que la concentration sulfurée serait, au moins en partie, postérieure à la mise en place des gabbros et se serait opérée, pendant le métamorphisme régional résultant de son retour en profondeur, par circulation hydrothermale.

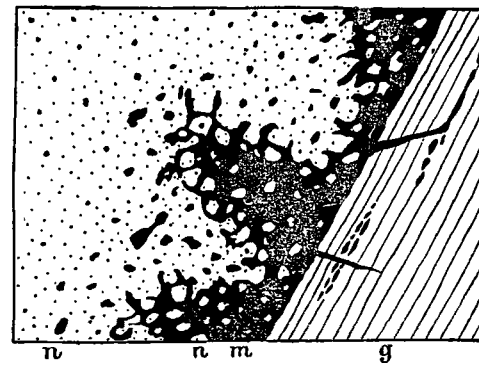


Fig. 293. — Croquis montrant le contact de la norite à Meinkjär, d'après Vogt. (Haut. 1 m.)
n, norite. — *g*, gneiss. — *m*, minerai de pyrite.

J. Vogt cite un grand nombre de gisements semblables : Romsaas au S.-E. de Kristiania; le groupe de Ringérike; celui de Meinkjär et de Bamle au N.-E. de Kragerö; Evje dans le Sätersdalen, que nous avons cité pour son exploitation actuelle[1]; le Skjäkerdalen au N.-W. de Throndjem. Un gisement analogue existe en Suède dans le Småland, à Klefva et l'on y a signalé la présence du platine, comme au Canada.

Le groupe nickélifère de *Ringérike* est situé au Nord de Skuterud, où sont des gisements cobaltifères que nous étudierons plus loin[2].

La pyrrhotine de Ringérike, subordonnée à un gabbro, se trouve disséminée à l'état d'imprégnations lenticulaires dans des schistes amphiboliques verticaux.

On a exploité, à ciel ouvert, trois lentilles principales, qui avaient de 50 à 70 m. de long et, au plus, 40 m. en profondeur. La puissance de l'imprégnation va jusqu'à 20 m.

A *Klefva*, en Småland, on a exploité de la pyrite magnétique, soit en amas, soit en imprégnations dans des gneiss. Le minerai tenait, en moyenne, 1,5 p. 100 de nickel et 0,5 de cuivre.

D'autre part, sur la côte de Kragerö, vers *Kristiansand*, des filons de quartz, avec pyrrhotine nickélifère, ont été exploités un moment vers 1873.

Industriellement, la première mine de nickel fut exploitée en Norvège

[1] Tome 2, page 576.

[2] Tome 2, page 611.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

de 1840 à 1850, par une compagnie anglaise, dans le *val d'Espedalen*, district montagneux du Söndre-Gudbransdal[1]. En 1876, on atteignit le maximum de la production avec 42 500 t. renfermant 360 t. de nickel. Actuellement, la production annuelle correspond à environ 80 t. de métal.

Pyrrhotines nickélifères de la haute Italie[2]. — Dans les Alpes, le développement des roches vertes associées avec les facies de retour en profondeur qu'accusent souvent les schistes lustrés, entraîne son cortège ordinaire de ségrégations ou départ sulfurés plus ou moins immédiats, avec pyrrhotines nickélifères, chalcopyrites et parfois magnétites. En partant de la région du Mont Cenis, on a : les gîtes du Mont Cruvin, près de Suse; puis ceux d'Usseglio et Balme au Sud du Grand Paradis; enfin Traverselle qui a été décrit plus haut[3]. Scopello et Varallo se trouvent le long de la grande traînée des roches d'Ivrée, composée de diorite basique avec gabbro à hornblende et norite[4]. Tous ces gisements, aujourd'hui abandonnés, offrent de grandes analogies avec les gîtes scandinaves.

On peut remarquer, en outre, dans la zone alpestre, l'existence de gisements, comme ceux du Val d'Anniviers en Valais, qui, sous une forme différente, celle des fahlbandes sulfureuses, rappellent également des types de Norvège. D'une façon plus générale, dans l'Italie du Nord et l'Italie Centrale, les traces de nickel sont fréquentes dans les serpentines et dans certaines ophites, comme celles de Bombiana (province de Bologne).

Si nous partons de l'Ouest, à *Besighetto* (commune de Balme), on a, dans la diorite, deux filons quartzeux minéralisés en nickel de 0,50 m. de puissance. A *Mezzenile* et *Cabianca*, on trouve une pyrrhotine tenant de 0,4 à 4,5 p. 100 de nickel, en relation avec des roches vertes. Puis, Baretti, dans son livre sur le Gran Paradiso, cite les mines de *Usseglio* et de *Balme* et montre comment la pyrrhotine s'y trouve avec des serpentines et des euphotides, tandis que la rammelsbergite et la smaltine, au contraire, traversent, suivant lui, des roches amphiboliques.

Des gisements de nickel se rencontrent aussi dans la province de Novara, au *Val Sesia* et à ses embranchements, au contact du gneiss et d'un massif de norite (avec passage au gabbro ou à la norite à olivine), qui a 20 km. de long sur 4 km. de large suivant une direction N. 20° E.

[1] Espedalen (Gausdal) a été exploitée de 1840 à 1853, de 1875 à 1878; Ringérike, de 1850 à 1870 et depuis 1889; Kragerö (ou Bamle) de 1850 à 1884; Askim (ou Rom) en Smalenene, de 1871 à 1877; Sigdal (Buskerud) de 1874 à 1877.

[2] 1869. Lévy (Neues Jahrb. f. Mineral, p. 77). — 1873. Jervis. *Tesori sott. d'Italia*, t, 1, p. 139. — 1876. Stelzner. (Zeitschr. d. D. geol. Gesell., p. 623). — 1877. Bombicci. *Contrib. miner. ital.*, p. 39. — 1877. Badoureau. *Métall. du nickel* (Ann. d. M., 7e, t. 12, p. 217). — 1883. D'Achiardi. *I metalli*, etc., t. 2. p. 22. — 1893. Vogt. *Varallo in Piemont* (Z. f. pr. G., p. 257. — Suess, t. 3, p. 448. — 1906. L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 29, 33, 40, 41, 43.

[3] Tome 2, p. 343.

[4] Les roches à structure granitoïde d'Ivrée, comme celles de l'Adamello, se présentent le long d'une cicatrice suivant une zone fracturée, avec des possibilités de mise en place par un transport mécanique très postérieur à leur cristallisation. D'une façon générale, on a remarqué, dans les Alpes, que les roches vertes, peut-être par un effet de leur compacité et de leur dureté plus grandes, formaient souvent la base de lames charriées. Comparer ce qui a été dit plus haut, page 579.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dans le haut Val Sesia et, plus particulièrement, dans le Val Sorba qui en est une branche, sont les amas du *Val Barbina* (commune de *Scopello*), de *Varallo*, de *Valmaggia*, de *Cevia*, etc. ; dans le Val Sesia inférieur, ceux de *Locarno* et de *Parone*.

La pyrrhotine des deux principales mines de Varallo tenait, une fois isolée : à Valmaggia, 3,32 p. 100 de Ni : à Cevia, 3,01 de Ni et 1,75 p. 100 de Cu. Elle était souvent accompagnée de chalcopyrite et de pyrite, comme au Canada ou en Norvège. En moyenne, on avait la relation 100 de nickel pour 50 de cobalt et 40 à 50 de cuivre : c'est-à-dire une teneur en cobalt relativement forte. L'exploitation a duré de 1860 à 1876.

Pyrrhotine nickélifère avec chalcopyrite dans les diabases de la Lausitz[1]. — On a exploité un moment, à *Schweidrich* et à *Sohland* près de Schluckenau en Lauzitz, sur la frontière de la Saxe et de la Bohême, des imprégnations de pyrrhotine nickélifère, chalcopyrite et pyrite de fer dans une diabase qui traverse le granite, souvent à son contact avec le granite encaissant. La diabase à biotite de Sohland dérive d'une diabase à hornblende, qui renferme ailleurs des noyaux riches en spinelle et en corindon.

Suivant Beck, le gisement de Sohland résulterait d'une circulation d'eau chaude, qui aurait immédiatement suivi l'intrusion diabasique en dissolvant des sulfures d'abord disséminés et les concentrant le long de fissures préalables. En même temps, se serait produite l'ouralitisation de la diabase, en raison de laquelle s'est développée une hornblende, qui accompagne volontiers le minerai. Les coupes de Schweidrich montrent une zone métallisée à renflements lenticulaires à peu près suivant l'axe du massif diabasique. La pyrrhotine de Schweidrich tenait, dans ses meilleures parties : 7 p. 100 de nickel contre 2,9 de cuivre ; celle de Sohland 4 à 5 p. 100 de nickel, 2 de cuivre et 0,14 de cobalt

Forêt-Noire (Horbach et Todtmoos)[2]. — Dans le Sud de la Forêt-Noire, à Horbach, près Saint-Blasien et à Todtmoos, on connaît, au milieu du granite, divers îlots basiques de norite et gabbro à hornblende, en grande partie serpentinisés, que Weinschenk a dépeints comme des enclaves ramenées de la profondeur par le granite. Il y existe des ségrégations de pyrrhotine nickélifère, chalcopyrite et pyrite, qui accusent surtout, dans leur forme actuelle, des effets de remise en mouvement. Dans ces mines du duché de Bade, on rencontre les minerais communs de nickel et de cobalt en quelques variétés particulières assez mal définies, comme la wolfachite ou corynite [$2NiS^2 + 3Ni(As\ Sb)$] et l'Horbachite (Fe^3, Ni)S, qui tirent leurs noms des localités où on les a découvertes.

De 1870 à 1880, ce groupe de mines a donné 15 à 16 t. de nickel, avec des minerais à 2 p. 100 de nickel et 0, 7 de cuivre.

[1] 1892. H. von Foullon. *Ueber einige Nickelerzvork.* (J. d. K. K. geol. Reichsanst. Vienne, p. 302). — 1903. R. Beck. *Die Nickelerzlagerst. von Sohland a. d. Spree* (Z. d. D. geol. Ges. janv. p. 296-331 ; avec bibl. — 1909. Beck. *Erzlagerst.* t. I, p. 81).

[2] 1873. Knop. *Ueber die Nickelerze von Horbach bei St Blasien* (N. J. f. M., p. 521). — 1907. Weinschenk. *Die Nickel Magnetkieslagerst. im Bez. St Blasien im Südl. Schwarzwald* (Z. f. pr. G., p. 73-86, pl. I, II).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nassau (Dillenburg). — Il faut, sans doute, rattacher à la même origine les masses de sulfures semblables associées, près de Dillenburg, à Nanzenbach, avec une roche à pyroxène et hornblende très altérée.

Longtemps, à la mine Hülfe Gottes de *Nanzenbach*, on a exploité un gîte formé d'un mélange de dolomie, de sidérose, de chalcopyrite, de millérite, de bismuthine, de pyrite de fer, d'hématite rouge et de quartz. L'exploitation avait porté au début sur divers filons principalement cuprifères ; elle amena, en 1841, la découverte d'un filon nickélifère, qui ne se montra minéralisé que dans la serpentine et devint stérile en en sortant.

Les péridotites anciennes du type des paléopicrites, d'où provient la serpentine, contiennent, dans leur masse, à Dillenburg, 0,16 à 0,66 p. 100 de nickel avec du cuivre, du cobalt et du bismuth.

C. IMPRÉGNATIONS, FILONS-COUCHES ET FILONS NICKÉLIFÈRES

Nous réunirons ici un assez grand nombre de gisements nickélifères à formes très variables, qui diffèrent des précédents par l'accentuation des caractères hydrothermaux, déjà rencontrés dans la catégorie précédente à titre exceptionnel et, dès lors, par un départ plus accentué, par un éloignement plus grand des roches mères, parfois impossibles à reconnaître. Souvent nous croirons apercevoir, ici encore, des effets de minéralisation relativement profonde traduits par une imprégnation diffuse qui a incrusté feuillets par feuillets des schistes ou des zones broyées qualifiées de fahlbandes. Dans ce genre de gisements nous retrouverons l'association des trois mêmes métaux, nickel, cobalt et cuivre, avec accentuation du rôle du cobalt dans un groupe de filons à gangue quartzeuse où la profondeur originelle des gisements semble diminuer. En même temps que l'acidité s'accroît, il se développe parfois certains métaux du groupe stannifère, qui montrent une intervention probable de ces magmas acides.

Dans les types filoniens les mieux caractérisés on voit également s'associer d'autres métaux à combinaisons sulfurés, comme le plomb et le zinc, mais alors avec accentuation du cobalt[1] et diminution du nickel et nous finissons même par avoir, aux Chalanches, des traces de mercure associées au cobalt et au nickel, comme autre terme extrême d'une série qui a commencé par l'association ultrabasique du nickel et du platine[2].

Les combinaisons du nickel et du cobalt dans leurs filons sont, tantôt sulfurées, tantôt arséniées.

Dans ce groupe en particulier, la séparation entre les gisements décrits à l'occasion du nickel et ceux réservés pour le chapitre du cobalt sera nécessairement un peu arbitraire. Quand il y a association, notre choix sera déterminé d'après le métal dominant ; mais nous aurons soin de mentionner, dès à présent, les gisements surtout cobaltifères dont nous réservons l'étude pour le chapitre suivant.

[1] Ces filons ayant été exploités autrefois à une époque où l'on recherchait le cobalt bien plus que le nickel, cette considération industrielle a dû contribuer à y faire signaler surtout le cobalt.

[2] Voir plus haut, pages 578 et 590, le groupement du nickel et du platine.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

1° CONCENTRATIONS NICKÉLIFÈRES A L'INTERSECTION DE FAHLBANDES, ETC.

Ce type de gisements, que l'on trouve assez souvent en Scandinavie, quelquefois aussi dans les Alpes, est généralement caractérisé par le fait suivant. Des zones pyriteuses interstratifiées, à allure de filons-couches, sont recoupées par des filons qui subissent ou produisent une transformation à l'intersection. Il ne semble pas, en général, que les fahlbandes aient été métallisées par des filons proprement dits[1]. Néanmoins, l'origine intrusive de leur propre métallisation ne semble guère douteuse. Il est possible qu'elle se rattache au métamorphisme régional. La comparaison avec le cas du Mansfeld cité plus loin conduirait à la faire supposer parfois antérieure. Les filons transversaux représentent, en tous cas, des fractures postérieures à l'ensemble, par lesquelles ont dû monter des dissolutions métallifères, qui ont subi l'influence des fahlbandes et qui ont pu leur emprunter également certains éléments.

Schladming (Styrie)[2]. — La mine de Schladming, en Styrie, a été exploi-

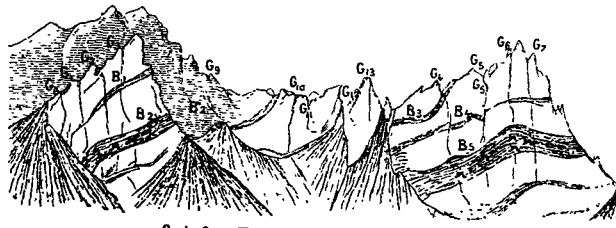


Fig. 294. — Vue perspective du gîte de Schladming, d'après Flechner.

tée pour argent dès le XV^e^ siècle ; puis, pour argent et cobalt, à la fin du XVIII^e^ siècle. Enfin, depuis 1832, on a commencé à extraire également le nickel, qui, jusque-là, était perdu dans les haldes.

Ce gisement présente un premier exemple de phénomènes que nous aurons à étudier à l'occasion du gîte d'argent de Kongsberg (Norvège) : la rencontre de filons avec des zones de schistes métamorphiques imprégnés de sulfures divers, qu'on appelle ici des *brande*, ailleurs des *fahlbandes* et leur enrichissement, ici en nickel, là en argent, à ces intersections. La région est formée de schistes cristallins, schistes amphiboliques et gneiss (fig. 294). Les brande, au nombre de six principales qui se prolongent sur des kilomètres de long, sont chargées de pyrite, pyrrhotine et mispickel ; elles ont de 0,50 *m.* à 30 *m.* de large. C'est dans ces brande,

[1] Voir tome 1, p. 94. Nous décrirons : à l'occasion du cobalt, les fahlbandes de Skuterud ; à l'occasion de l'argent, celles de Kongsberg, dont nous aurons à discuter l'origine.

[2] 1860. Fuchs. *Métallurgie du nickel en Styrie* (Ann. d. M.). — Aigner. (B. u. H. Jahrb. d. K. K. OEstr. Bergak., t. 9, p. 560). — 1876. Brochure de la Société de Gorsdorff à Schladming. — 1887. Flechner. (Oest. Zeits. f. B. u. H., t. 35).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

particulièrement dans la Vötternbrande qui a 6 m. de large et la Neualpnerbrande qui en a 17, qu'on exploite les métaux précieux. Les filons, au nombre de 13, sont tous à gangue de carbonate et contiennent des nids de cuivre gris, de mispickel et de minerais argentifères. A la traversée des brande, ils se resserrent et disparaissent presque et l'on voit, à leur place, des nids de minerais de nickel, cobalt et cuivre accessoire ayant parfois plusieurs mètres de long et un mètre de large. Parmi ces minerais, on peut citer la nickéline, la cobaltine, la chloanthite, la smaltine, le cuivre gris, etc.

Les minerais triés, tels qu'ils viennent à l'usine, contiennent environ 1 p. 100 de nickel, 1/2 à 1 p. 100 de cobalt et des traces de cuivre.

Les minerais argentifères renferment, dans les parties les plus riches, jusqu'à 14 p. 100 de cuivre, 0,4 p. 100 d'argent et 4 à 5 p. 100 de nickel et de cobalt.

Ces mines de Schladming (V. Gersdorffschen Nickelwerke) ont produit, avant 1880, au maximum, 12 à 14 tonnes de nickel par an, dans l'usine de fusion de la vallée d'Hopfrisn et l'usine de raffinage de Mandling.

Val d'Anniviers (Valais)[1]. — En *Suisse*, on peut rapprocher du type de Schladming les minerais du *Val d'Anniviers*, près de Sierre (ou Siders) en Valais, où existe l'association nickel, cobalt, cuivre et bismuth avec sidérose. Là aussi, on retrouve, dans des schistes talqueux et amphiboliques, des sortes de fahlbandes pyriteuses, qui s'enrichissent à la rencontre des filons transversaux de cobalt et de nickel, contenant eux-mêmes chloanthite, nickéline, chalcopyrite et sidérose. Il s'est développé ainsi des filons-couches renfermant du mispickel cobaltifère, de la cobaltine, de la chloanthite, du bismuth natif, etc.

Les affleurements nickélifères sont nombreux sur la crête d'*Omberenza* dans le Valais. La roche encaissante des filons est un schiste vert et gris. Sur le *Kaltberg*, dans le Turmanntal, où se trouvent surtout ces gisements, on connaît, vers 2400 m. d'altitude, 7 filons métallifères, explorés de 1874 à 1877. On en a découvert d'autres à *Plantorenz*, à une altitude de 2 990 m. au-dessus du niveau de la mer. Et enfin d'autres affleurements, qui ne sont que la continuation des filons précédents, existent près de Zerbitzen, à Grand-Paz et à Gollyre, près de Ayer dans le val d'Anniviers.

Le minerai de ces gisements est un mélange de nickéline (NiAs), de rammelsbergiste ($NiAs^2$), de cobaltine et autres espèces. La teneur en nickel de ces minerais semble être assez élevée, comme l'indiquent les analyses suivantes dues à Heusler:

[1] 1869. A. Ossent. (B. u. H. Zeit., p. 13). — 1876. Heusler. (Zeitschr. d. D. geol. Gesellsch., t. 28, p. 243). — Sept. 1881. Deshayes. *Gîtes métallifères des Alpes Valaisannes* (Génie civil). — 1883. D'Achiardi. *I metalli*, etc., t. 2, p. 25. — 1903. Schmidt. (Z. f. pr. G., p. 205). — L. De Launay. *Métall. de l'Italie*, p. 29 à 30.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 39. — MINERAIS DE NICKEL DU VAL D'ANNIVIERS

	VAL D'ANNIVIERS				MINERAI DE KALTBERG		
	Pyrite nickélifère rouge		Pyrite nickélifère blanche	Mélange des deux			
Ni.	30,3	38,9	26,75	28,58	17, 5	13,70	9,60
CO.	8,9	1,2	3,93	10,30	10, 5	1,42	3,75
Fe.	»	»	1,40	»	»	»	»
Bi.	»	»	»	»	»	0,89	2,11
AS.	60,7	59,9	65,02	61,62	72,07	»	»
S	»	»	2,99	»	»	36,00	16,20
	99,9	100,00	100,00	100,00	100,007	52,01	31,66

Thuringerwald et Mansfeld[1]. — C'est un phénomène analogue à celui des fahlbandes, au métamorphisme près, qui caractérise les gisements nickélo-cobaltifères du Thuringerwald et du Mansfeld. Nous verrons plus tard qu'il existe, dans ces régions, une importante formation cuprifère à allure sédimentaire, dont quelques géologues sont aujourd'hui portés à interpréter l'origine par une métallisation postérieure. C'est à l'intersection de filons-failles avec cette formation (comme, dans les gisements précédents, à la rencontre des fahlbandes), que se produisent des phénomènes d'enrichissement. L'origine première des métaux dans ces filons, dont le remplissage cesse toujours à faible profondeur, demeure problématique.

Au Sud-Ouest, à Bieber en *Hesse*[2], près de Frankfurt, le zechstein cuprifère repose directement sur le micaschiste et les deux terrains sont traversés par des filons de 0,07 à 0,10 m. de puissance, qui les rejettent de 10 à 20 m. On a trouvé, jusqu'à 60 m. de profondeur, dans le micaschiste, des nids de minerais (cobaltine, smaltine, bismuth natif, sidérose, chalcopyrite, cuivre gris, pyrite de fer) avec barytine. Au delà, le filon se réduit à un simple filet non minéralisé.

A *Riechelsdorf*[3], en Hesse, on a exploité, de même, des nids de smaltine, chloanthite et cobaltine avec barytine dans la couche des schistes cuivreux et le grès rouge immédiatement au-dessous. On a constaté là que la couche de schistes cuivreux était pauvre au voisinage de ces filons, qui, eux-mêmes, ne contenaient plus de minerais, mais seulement de la barytine en s'approfondissant.

Dans le *Thuringerwald* (à Schweina, etc.)[4], on a travaillé sur des filons de nickel, cobalt et cuivre, dits Kobalt-Rücken, qui recoupent la formation cuprifère du zechstein en la rejetant. Ces filons ont pour gangue, outre la sidérose et la calcite, de la barytine. La formation de schistes cuprifères,

[1] L. De Launay. *Les minerais stratiformes de la chaine hercynienne* (Ann. d. M., juin, p. 79 à 82 et pl. VIII).

[2] 1888. Schmidt. (Neues Jahr. f. Min., p. 45). — Voir plus loin, p. 774.

[3] *Erläuterung zur geol. Carte v. Preussen* (feuille Sontra). — Voir plus loin, p. 773.

[4] 1898. Beyschlag. *Kobaltgänge von Schweina* (Z. f. pr. G., p. 1-4). — Voir fig. 329, p. 770 et plus loin p. 783.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qui est pauvre dans cette région (1,4 p. 100 de cuivre et pas d'argent), s'enrichit jusqu'à 3 et 4 p. 100 de cuivre à l'intersection de ces filons, et les conglomérats supérieurs du zechstein atteignent également, sur les mêmes points, une teneur en cuivre élevée.

Vers l'Est, les filons de *Kamsdorf*, en Thuringe, étudiés par Beyschlag, se présentent aussi sous la forme de failles rejetant les terrains permiens avec le dinantien sous-jacent. En partant du bas, dans le dinantien, le filon-faille présente une incrustation symétrique de quartz, de barytine et sidérose, qui semble s'éparpiller. Plus haut, quand la faille pénètre dans le zechstein cuprifère, on a un filon bréchiforme avec débris du terrain encaissant cimentés englobant du cuivre gris, des minerais de nickel et cobalt et de la barytine, le tout inexploitable. Plus haut encore, dans le zechstein supérieur, les minerais disparaissent ; mais, en pénétrant dans les calcaires qui forment la base de ce terrain, la métallisation s'est étendue latéralement, par substitution, sous forme de lentilles où l'on exploite de la sidérose, avec de la limonite résultant de son altération. Du cobalt oxydé noir a également pénétré dans les fissures de ce calcaire. On peut évidemment, comme on l'a fait, interpréter ces filons par une venue profonde, sur laquelle la couche cuprifère aurait exercé une réaction précipitante. On pourrait aussi y voir un effet de sécrétion latérale empruntée à ces mêmes schistes par des eaux ascendantes, ou descendantes, d'origine superficielle.

De même, plus au Nord, les rejets, ou rücken, qui traversent la partie exploitée pour cuivre des schistes du *Mansfeld*, ont, par endroits, un remplissage de nickéline, de chloanthite, et de sulfures de cuivre avec sidérose et barytine [1].

Les minerais de cobalt et de nickel ne s'y sont trouvés exploitables que sur deux points, au 23e chantier de Gerbstedt, où de la smaltine, parfois cristallisée, de la pyrite de fer, de la marcassite, plus rarement de la chalcosine, de l'érubescite et de la chalcopyrite étaient associées à de la calcite, de la sidérose et accidentellement de la barytine et, en second lieu, dans le district de Sangerhauseu, où la smaltine était accompagnée de mispickel cobaltifère et nickélifère, de chalcosine et de chalcopyrite, avec gangue de barytine, rarement de calcite et de quartz. Ces *rücken* ne sont pas des fentes régulières, mais des systèmes de cassures étoilées, qui rejettent les couches en y produisant des plissements et des brouillages tout spéciaux. Les gangues et les minerais remplissent des cavités irrégulières, de formes tres variées ; leur nature est massive, jamais symétrique et zonée. Ici encore bien des géologues ont vu l'effet d'une sécrétion latérale. D'autres ont interprété ces dépôts par une venue indépendante et épigénitique d'origine profonde.

2° ASSOCIATION DE NICKEL, COBALT ET CUIVRE A GANGUE DE SIDÉROSE

Nous venons déjà, en étudiant les fahlbandes, de rencontrer des filons, où le nickel, le cobalt et le cuivre s'associent avec une gangue de sidé-

[1] 1857. Baeumler. *Ueber das Vork. von Nickelerzen im Mansfeld. Kupferschiefergebirge* (Z. d. D. g. G., t. 9, p. 25-50).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rose (Valais, Thuringerwald et Mansfeld). On connaît d'assez nombreux exemples de semblables gisements à caractère simplement filonien (Haute Hongrie, Dauphiné, etc.), que nous décrirons tous ici, quel que soit le métal dominant, nickel ou cobalt.

Dobsina ou Dobschau (Haute Hongrie)[1]. — Le groupe de Dobsina présente un système de filons carbonatés spathiques, souvent avec cuivre, comme ceux qui ont été décrits au chapitre du fer, dans lequel quelques remplissages nickélo-cobaltifères, associés au fer spathique et au cuivre, représentent un cas particulier. Certains de ces filons cobaltifères, à Zemberg, traversent une diorite à gros grains près de son contact avec des chlorito-schistes. Disposés en éventail dans le haut, ils se coincent vers 200 m. de profondeur. Le remplissage est formé de sidérose, ankérite, calcite et d'un peu de quartz, auxquels se joint la tourmaline dans les filons Sud : minéral intéressant à signaler comme représentant un indice de minéralisateurs tels qu'en dégage ordinairement la granulite[2]. Au milieu de cette gangue surtout spathique, on trouve des noyaux de sulfures cuprifères avec sulfure de nickel, smaltine, etc. Divers phénomènes indiquent des actions d'altération superficielle qui ont dû tout au moins contribuer à la concentration du cobalt. La plupart des filons cobaltifères s'élargissent, en effet, au voisinage de la surface actuelle et l'on a même, au Langenberg, sur la diorite, entre la surface irrégulière de celle-ci et des sédiments carbonifères qui la recouvrent, une intercalation de sidérose atteignant 35 m. de puissance avec nids éparpillés de minerais de nickel, cobalt et cuivre dans sa zone inférieure. Ces derniers gisements représentent évidemment une action de métasomatose exercée sur des calcaires carbonifères, en relation d'origine avec les filons, avec intervention possible de modifications et remises en mouvement superficielles.

Le minerai de fer est encore exploité ; mais les gisements de nickel et cobalt, qui ont produit, de 1840 à 1880, environ 26 000 t. de minerais, sont depuis longtemps abandonnés.

Chalanches (Dauphiné)[3]. — Une semblable formation de sidérose et chalcopyrite présente localement des minerais de nickel et cobalt aux Chalanches en Dauphiné. Quoique le cobalt domine dans ce gisement, nous le décrirons ici pour bien mettre en évidence son analogie avec les gîtes précédents.

La région située à l'Est de Grenoble comprend, d'Allevard à Vizille, un système important de filons de sidérose et chalcopyrite en relation nette avec les derniers plissements des Alpes, auxquels ils sont en général parallèles. Nous avons eu l'occasion de mentionner ces filons à propos du

[1] 1862. V. Cotta. *Ueber die Erzlag. von Dobschau* (Gangst., t. 4, p. 48-53). — 1868. G. Faller. *Kobaltbergbau von Dobschau* (B. u. H. Jahr. d. K. K. Ost. Bergah., t. 17, p. 165. — 1900. Voit. *Geogn. Schild. d. Lagers. Verh. von Dobschau* (avec carte et bibl. J. K. K. g. Reichs. t. 50, fasc. 4). — 1902. A. Gesell. *Geol. u. Gangver. des Dobsinaer Bergb.* (J. K. Ung. geol. Anst., p. 120-133). — Voir plus haut t. 2, p. 353, les filons de sidérite de Dobsina.

[2] Nous retrouverons souvent cette tourmaline avec le nickel, et surtout avec le cobalt, à Skuterud, San Juan du Chiti, Schneeberg, etc., pages 611, 613, 615.

[3] 1895. L. De Launay. *Gîtes métallifères des Alpes* (Monde moderne, mars 1895, p. 440).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fer[1]. La chalcopyrite y est parfois aurifère (Molard, Auris, la Combe de Theys, Tain, etc.) Gueymard y a signalé des traces de platine. D'autre part, le cobalt avec un peu de nickel y apparaît à l'ancienne mine des Chalanches (dite aussi Allemont du nom de la fonderie qu'elle alimentait), à peu près au confluent de l'Eau d'Ole avec la Romanche.

Ce gisement, qu'on peut rapprocher de ceux de Guadalcanal, Schneeberg, etc.[2], est remarquable par l'association du cobalt et de l'argent dans une gangue spathique. Les filons, très irréguliers, en partie encaissés dans le gneiss, en partie dans un calcaire saccharoïde et enrichis le long de certaines zones pyriteuses, forment un réseau complexe de 600 m. de long sur 500 de large, où l'on a trouvé parfois, surtout aux intersections des fractures, des poches remarquablement riches en argent.

L'association du molybdène d'une part et du mercure de l'autre, constituait, pour ce gîte, une particularité intéressante.

Cette mine a été exploitée de 1768 à 1839 : d'abord par l'État jusqu'en 1801, puis par des particuliers.

Pays de Siegen[3]. — De même, dans le pays de Siegen et d'autres parties de la Westphalie, les minerais de nickel, associés avec ceux de cobalt, plomb, cuivre et bismuth, se trouvent dans des filons qui recoupent le dévonien : le dévonien moyen près d'Altenrath (environs de Siegen) ; le dévonien inférieur à Busenbach, Wingershardt et Schönstein (arrondissement d'Altenkirchen), à Müsen (Siegen) et près de Rhonard (Olpe).

Pas de Paschietto et Cruvin (Piémont)[4]. — Dans le Piémont, à l'Ouest de Turin, sur la Sarda, au *Pas de Paschietto*, on rencontre, dans la diorite, deux filons de 0,50 m. à peine de puissance, de quartz, sidérose, rarement calcite, avec de la smaltine, des arséniates de cobalt et de nickel (érythrine, annabergite), de la malachite et de l'azurite. L'exploitation n'en a jamais été durable. Dans la même région, les filons de *Cruvin* (Val de Susa), aux environs du village de Bruzolo, sont plus riches. Ils traversent des schistes chloriteux et de la serpentine et contiennent du quartz, de la dolomie, de la calcite, de la rammelsbergite ou de la chloantithe (Ni As^2), de la lœllingite (Fe As^2), du cuivre gris et de la chalcopyrite. On les a exploités au XIII[e] siècle et abandonnés en 1759.

Sierra Cabrera[5]. — En Espagne, dans la Sierra Cabrera, des filons cobaltifères recoupent le calcaire carbonifère et contiennent un mélange de braunspath avec millérite et nickéline.

3° ASSOCIATION DE NICKEL ET COBALT A GANGUE DE CALCITE

Ce type, dans lequel le nickel est généralement subordonné, pourrait être représenté par les gisements de Cobalt au Canada et de Gistain dans les Pyrénées, qui seront décrits plus loin[6].

[1] Voir tome 2, p. 354.
[2] Voir plus loin, t. 2, p. 615.
[3] Voir plus haut, p. 350 à 353, les filons de sidérite de cette région.
[4] Voir plus haut, t. 2, p. 594.
[5] Voir : 1863. FERBERG. (Berg. u. H. Z., p. 306. — D'ACHIARDI, 2, 53.
[6] Voir plus loin, t. 2, p. 610.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

4. FILONS QUARTZEUX DE NICKEL, COBALT, PARFOIS AVEC BISMUTH

Les filons de nickel et cobalt à gangue quartzeuse accusent évidemment un mode de minéralisation différent, en relation avec d'autres magmas rocheux. Nous voyons généralement s'y accentuer le rôle du cobalt, parfois au point que le nickel disparaît et la plupart de ces gisements, dont nous envisageons ici la place, seront en conséquence réservés au chapitre du cobalt.

En même temps, il s'y développe du bismuth, qui a toujours, même avec une gangue de calcite, tendance à accompagner le cobalt (Ontario, etc.), et l'on trouve, parfois associés, d'autres métaux du groupe stannifère. La teneur en argent peut y devenir assez forte pour en faire de véritables gisements d'argent.

Schneeberg (Saxe)[1]. — Nous nous contentons de mentionner brièvement ici le groupe important des filons de Schneeberg, où le nickel n'intervient qu'accessoirement, associé à une formation dans laquelle dominent les minerais de cobalt et d'argent, avec carbonate de manganèse teinté de cobalt, minerais de bismuth et d'uranium. Cette formation, dont la gangue est d'ordinaire surtout quartzeuse, avec barytine, fluorine et calcite accessoires, mais parfois aussi entièrement carbonatée, paraît se rattacher très directement aux manifestations périphériques d'un massif granitique intrusif au milieu des schistes, dans des conditions analogues à celles où on trouve d'ordinaire l'étain. C'est donc l'accentuation d'un type acide que nous avons déjà vu annoncé par l'apparition du bismuth ou de l'étain, par les aiguilles de tourmaline[2], etc., et qui, en se caractérisant davantage, paraît amener l'appauvrissement en nickel. Ces filons, disposés en stockwerk, se coincent vite en profondeur et n'ont plus donné de minerais riches au-dessous de 460 à 480 m. Ils se perdent également quand ils passent du schiste dans le granite.

Ce gisement accuse, comme nous le verrons plus tard, des indices nombreux d'une remise en mouvement toujours continuée (silicification postérieure, stalactites de minerais, etc.), qui paraît avoir joué souvent un rôle important dans ces concentrations de nickel, cobalt et argent.

Suivant H. Muller, les minerais de nickel se trouveraient surtout aux zones limites des minerais cobaltifères.

Oural. — Ailleurs, on a signalé, quoique assez rarement, des filons de quartz avec minerais de cobalt et de nickel sans argent. C'est, d'après Müller, le cas à *Rewdinsk*, près d'Iékaterinenbourg (Oural), où, comme nous l'avons vu[3], l'on a exploité, au milieu des chloritoschistes et de la serpentine, un filon quartzeux de 2 m. de large, contenant des nodules d'annabergite (arséniate hydraté de nickel) avec des hydrosilicates de nickel comme la garniérite et un peu de cobalt associé.

[1] Voir tome 1, p. 205 ; tome 2, p. 41, 615 et tome 3, chapitre de l'argent.

[2] Voir page 601, le cas de Dobsina.

[3] Voir plus haut, tome 2, page 586.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Vosges, Forêt-Noire. — Dans les Vosges, près de *Sainte-Marie-aux-Mines* et à *Schiltbach*, dans la Forêt-Noire, des filons contiennent nickel, cobalt, argent, etc.

Leogang (**Salzbourg**). — A Leogang, on a exploité des arséniures de nickel associés avec des pyrites nickélifères et cobaltifères. Ces mines produisaient, vers 1880, 2 à 3 t. de nickel par an.

Iles Britanniques. — On a exploité des minerais de nickel à Merthyr-Tydril, en Angleterre, et à Craigmuir près d'Inverary (Argyleshire), en Ecosse. En ce dernier point, on extrayait un minerai assez riche, la pentlandite (Ni S + n Fe S). qui, suivant divers essais, donnait un rendement de 7 à 22 p. 100 de nickel.

Sardaigne — En Sardaigne, on a découvert du nickel vers 1880, dans la commune de Gonos-Fanadiga, et on a exploité quelque temps la mine de *Fenegusibiri*, dans un filon quartzeux qui traverse des schistes siluriens.

Le minerai de ce filon se compose de nickéline (Ni As), de millérite et d'arsénio-sulfures associés à de la pyrrhotine nickélifère, qui contient, outre le nickel, du cobalt et du bismuth.

République Argentine. — Dans la République Argentine, on connaît près de *Jagüe*, dans la mine Solitaria (province de Rioja), des filons de nickéline, et d'autres filons nickélifères de pyrrhotine et de chalcopyrite sur la *Sierra de Salamanque*, à environ 156 km. au Sud de Mendoza.

Rapi (**Ayacucho**)[1]. — A Rapi, dans la province péruvienne de la Mar, se présentent un certain nombre de filons quartzeux à nickéline et cobaltine avec tétraédite argentifère, argent natif et un peu d'or. Ces filons, où l'on a d'abord exploité l'argent, ont récemment attiré l'attention pour le nickel. Ils recoupent des schistes. Dans certains d'entre eux, les sulfures de fer et de cuivre dominent avec nids de sulfure de cobalt; ailleurs, l'oligiste et la galène. Le nickel est surtout à l'état de nickéline (arséniure), parfois antimonieuse. On a aussi de l'ullmanite, de l'annabergite, de la nickéline ferrifère, avec un peu de garniérite. C'est donc un type de filons complexes, qui peut, dans une certaine mesure, rappeler les groupements cobalto-argentifères dont il sera question plus loin, mais qui s'en distingue aussi bien par l'abondance dominante du nickel que par le développement des autres sulfures.

La Motte (**Missouri**). — Nous décrirons plus tard, au chapitre du plomb, ce cas intéressant de substitution métallifère dans des calcaires cambriens, où la métallisation est caractérisée par l'association du plomb, remarquablement pauvre en argent, avec le nickel et le cobalt, et un peu de cuivre, à l'exclusion du zinc. Le grès de Postdam, au voisinage, renferme un minéral rare, la siegénite: $(Co,Ni)^3S^4$. Dans les amas du calcaire, c'est la pyrite, associée avec la galène, qui est nickélifère et cobaltifère et que l'on sépare par triage.

[1] 1904. E. De Habich (Bol. Cuerpo Ingen. de minas del Peru 11).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XL

COBALT

Co = 58,97

a) USAGES ET STATISTIQUE

Usages. — Les usages du cobalt sont assez restreints ; ce qui a été longtemps, en partie, causé par le prix très élevé de cette substance. Une transformation profonde s'étant produite à cet égard dans ces dernières années, il est possible que le cobalt métallique trouve un jour des emplois nouveaux. Jusqu'ici, il a le défaut, tout en étant plus dur et moins fusible que le nickel, d'être plus altérable et beaucoup plus cher. Le cobaltage n'est employé qu'en proportions infimes dans la sellerie de luxe et la serrurerie d'art.

Allié au bronze, le cobalt lui communique une certaine dureté (coussinets). Toutefois, le cobalt, même en faible proportion, rend, à moins de précautions spéciales, le cuivre dur et difficile à travailler.

Le véritable emploi industriel de ce métal, connu au moins depuis le XVI[e] siècle[1], c'est la préparation des bleus. Le *bleu de cobalt, ou azur*, formé par la dissolution de l'oxyde de cobalt dans un verre à base de potasse, n'est plus aujourd'hui qu'une rareté commerciale, entièrement supplantée par le bleu Thénard.

Le *bleu Thénard*, plus opaque que l'azur et couvrant mieux, est un aluminate de cobalt dilué dans un excès d'alumine, qui sert pour la décoration céramique, les couleurs fines de peinture et l'impression des billets de banque.

En remplaçant l'alumine par l'oxyde de zinc, on a un vert très solide, appelé *vert de Rinmann*. Le *vert Bruère* est un chloro-aluminate de cobalt.

Une assez forte proportion de cobalt est employée dans la poterie pour neutraliser la couleur rouge donnée par le fer à la pâte. Les bleus de Sèvres sont réalisés avec du cobalt, additionné d'un peu d'oxydes de fer et de manganèse[2].

[1] Le mot de cobalt existe déjà dans les alchimistes grecs, peut-être appliqué à un autre produit. Les Egyptiens savaient fabriquer des pierres bleues coloriées par du cobalt. Cet art fut, dit-on, retrouvé par le verrier bohémien Schurer au XVI[e] siècle. La fabrique de couleurs bleues de Schneeberg fut fondée en 1570.

[2] 1883. LAUTH. (B. Soc. ch., 2[e], t. 39, p. 435).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ces diverses applications consomment, par an, une quantité d'oxyde que l'on peut évaluer de 250 à 300 t.

Statistique. — Le cobalt était autrefois fourni, en petites quantités et à un prix élevé, par quelques mines européennes, en Saxe, etc. Vers 1875, le cobalt oxydé valait ainsi 60 fr. le kg. La découverte des gisements de Nouvelle-Calédonie a causé une première révolution dans cette industrie et ce pays a eu, pendant quelques années, le monopole. En 1896, il a produit au moins 5 000 t. de minerai à 4 p. 100 de protoxyde, ou 3,15 p. 100 de cobalt : soit 200 t. de métal. En 1900, la production, bien que réduite, dépassait encore 2 500 t. de minerais, tandis que le New South Wales en fournissait 145 t., le Chili 27 et la Saxe 4[1].

A cette époque, l'oxyde valait en Europe 20 à 25 fr. le kg. et les minerais de Nouvelle-Calédonie pouvaient se vendre sur place une centaine de francs la tonne. Ce pays est ainsi remonté à 8 961 t. en 1904 et 7 819 en 1905. Mais, depuis 1906, le district de Cobalt, au Canada, a enlevé à son tour le monopole à la Nouvelle-Calédonie, dont les exportations sont tombées presque à zéro (969 t. de minerais en 1909). Le Canada, pour lequel le cobalt n'est qu'un accessoire de l'argent, pourrait aisément fournir 1 500 t. d'oxyde par an. Il en résulte que le prix de l'oxyde est tombé au-dessous de 10 fr. en 1908 et que, dans la plupart des exploitations de minerais du Canada, le cobalt n'est même pas compté, ne figurant sur les statistiques que dans les minerais à très haute teneur qui atteignent là facilement 10 p. 100.

b) MINERAIS DE COBALT

Les principaux minerais de cobalt sont :

A. MINERAIS NON OXYGÉNÉS :

1° *Cobalt natif.*

2° Sulfure (problématique). *Jaipurite :* CoS ; teneur : 64,8 p. 100 de Co.

3° Arséniures. *Smaltine* (ou Speisskobalt) : $CoAS^2$ ou $(Co,Fe)As^2$; teneur : 28,2 p. 100 de Co.
Chloanthite : $(Co, Ni)\,As^2$; teneur : de 0 à 28,2 p. 100 de Co.
Skuterudite : $Co\,As^3$; teneur : 20,7 p. 100 de Co.

4° Arsénio-sulfures. *Cobaltine* (Cobalt gris, Kobaltglanz) : CoS As ; teneur : 35,5 p. 100 de Co passant au *Glaucodot :* $(Co,Fe)\,SAs$.

B. MINERAIS OXYGÉNÉS :

Hétérogénite : $H^{12}\,Co^5O^{13}$; teneur : 57,3 p. 100 de Co.
Erythrine : $H^{16}\,Co^3\,As^2O^{16}$; teneur : 29,5 p. 100.
Asbolite ou *Asbolane* (de ἀσβόλη, suie) : (cobalt oxydé noir manganésifère, tenant 30 à 40 de MnO contre 20 à 32 CoO et 21 à 23 H^2O).
Patéraite : Molybdate de cobalt.

Voici les analyses de quelques minerais de cobalt[2] :

[1] En 1890, il y avait encore en Allemagne deux exploitations de cobalt : à Arnsberg en Westphalie et à Cassel en Hesse-Nassau. Les usines fabriquant le bleu de cobalt sont à Schneeberg : l'une fiscale à Oberschlema, l'autre privée à Pfannenstiel.

[2] D'ACHIARDI. t. 2, p. 43, etc. — DANA. *System of mineralogy*. New-York, 1903.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 40. — ANALYSES DE MINERAIS DE COBALT

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Co	28,30	21,21	13,95	20,31	19,73	20,01	33,71	30,37	9,62	33,10
Ni	traces	»	1,79	»	»	»	»	»	»	»
Fe	7,83	11,60	11,71	3,42	4,27	1,51	1,63	5,75	24,09	3,23
S	19,46	0,49	0,66	0,88	1,53	0,69	19,35	19,75	19,08	20,08
As	43,87	66,06	70,38	74,21	74,47	77,84	43,31	44,13	43,14	43,46
Sb	traces	»	»	»	»	»	»	»	1,04	»
Bi	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Gangue	0,80	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Cu	»	1,90	1,39	0,16	»	»	»	»	2,36	»
	100,26	101,26	99,88	98,98	100,00	100,05	100,00	100,00	99,33	99,87

I. Cobaltine (Jaipurite) de l'Inde. An. de Mallet.
II. Smaltine (Safflorite) de Schneeberg. An. Jäckel.
III. Smaltine (Safflorite) de Schneeberg. An. Hofmann.
IV. Smaltine de Riechelsdorf. An. Stromeyer.
V. Smaltine de Glucksbrunn.
VI. Skuterudite de Skuterud. An Scheerer.
VII. Cobaltine de Morgenrothe (Siegen). An. Schnabel.
VIII. Cobaltine d'Oravicza (Banat). An. Huberdt.
IX. Ferrocobaltite de Hamberg (Siegen).
X. Cobaltine de Skuterud. An. Stromeyer.

c) GÉOLOGIE DU COBALT

Nous avons déjà fait remarquer, à l'occasion du nickel, que le cobalt, malgré ses analogies bien connues avec ce métal, qui tendent en même temps à le rapprocher du cuivre, s'en séparait nettement dans un certain nombre de ses gisements, notamment pour s'associer avec le bismuth, l'uranium, l'argent et, plus rarement, l'or : pour passer en un mot à des groupements caractéristiques des roches acides.

A. Si nous reprenons l'ordre adopté dans la description des gisements de nickel, nous retrouvons d'abord, pour le cobalt, des inclusions en roches basiques ayant donné lieu à des concentrations superficielles oxydées, les asbolites remplaçant les garniérites. Mais ici nous croyons utile de mettre en évidence le rapprochement de ces concentrations superficielles avec toute une série d'autres, produites sur les affleurements de gîtes cobaltifères tout à fait différents et nous réserverons donc leur description pour un paragraphe spécial (D), consacré en terminant à ces concentrations oxydées, beaucoup plus fréquentes pour le cobalt que pour le nickel.

B. Les pyrrhotines, en même temps qu'elles sont nickélifères, renferment d'ordinaire un peu de cobalt. Ce genre de gisements étant, avant tout, caractérisé par la présence du nickel et son association avec le cuivre, a été décrit au chapitre du nickel.

C. En revanche, comme on l'a déjà vu, à mesure que le caractère filonien s'accentue, le cobalt tend à prédominer. Nous aurons donc ici tout un groupe de filons cobaltifères, où le nickel peut être rare, parfois même totalement absent. Quoique le cobalt s'y présente toujours à l'état de sulfures et d'arséniures, et jamais dans la profondeur sous la forme oxydée, ces filons présentent des affinités singulières avec les filons d'étain, beaucoup plus qu'avec les filons sulfurés normaux. Des métaux du groupe de l'étain, comme le bismuth et l'uranium, le molybdène, l'étain même, s'y dévelop-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pent fréquemment[1]. Leur allure est souvent celle de stockwerks, de veines sinueuses et sans grande continuité profonde. On croit enfin, dans bien des cas (Schneeberg, etc.), apercevoir leur relation avec des intrusions granitiques. Les gisements si argentifères de l'Ontario s'associent avec des pegmatites. Ailleurs, en dehors des métaux à affinités stannifères, il s'y développe des minéraux comme la tourmaline, que l'on a l'habitude de rattacher aux granites (Dobsina, Skuterud, San Juan au Chili, Schneeberg, etc.).

D'autre part, une association tout à fait caractéristique avec l'argent mérite une mention spéciale.

Afin de mettre de l'ordre dans la description de ces filons cobaltifères qui occuperont presque tout notre chapitre, nous serons amenés à les subdiviser. On peut le faire de deux manières : soit en se fondant sur l'association avec tel ou tel métal, en particulier le nickel et le cuivre, ou l'argent et le bismuth; soit en s'attachant à la nature de la gangue dominante (carbonate ou quartz). Ni l'un ni l'autre des systèmes ne donne malheureusement quelque chose d'absolu. Entre des filons remarquablement argentifères, comme ceux de l'Ontario et d'autres filons, où l'argent est à l'état de traces, on rencontre toutes les transitions possibles. D'autre part, dans un système filonien à gangue surtout quartzeuse comme celui de Schneeberg, on a des filons exclusivement carbonatés à gangue de calcite ou de dialogite.

Néanmoins, si l'on admet, comme cela semble bien le cas ici, que la gangue minérale appartient à la venue profonde qui a amené les métaux et non à un remaniement superficiel, il semble logique de croire que les venues carbonatées et les venues quartzeuses doivent correspondre, ou à un milieu igné originel plus ou moins basique, ou à une distance plus ou moins grande de ce milieu : en résumé à un mode métallogénique distinct, qui entraîne, dans une certaine mesure, la présence ou l'absence d'autres métaux. Commençant par les types fortement nickélifères et reliés aux roches basiques, qui, pour la plupart, ont été décrits au chapitre précédent, pour terminer par les types stannifères et aurifères en relation possible avec des roches acides, nous adopterons donc l'ordre suivant :

1° Filons de cobalt et nickel (avec cuivre fréquent) à gangue carbonatée (sidérose, calcite, dialogite). — Types Dobsina, Chalanches, Schladming, Val d'Anniviers, Gistain, Gothic, etc.

2° Filons à gangue de calcite, de cobalt argentifère, avec cuivre fréquent et un peu de bismuth (parfois reliés à des pegmatites). — Types Ontario, Cobalt, Guadalcanal.

3° Filons à gangue quartzeuse de cobalt, cuivre, parfois bismuth, molybdène, étain exceptionnel, avec peu ou pas de nickel. — Types Skuterud, Tunaberg, Riesengebirge, Dachkessan, Balmoral, San Juan, etc.

4° Filons à gangue quartzeuse de cobalt argentifère, avec bismuth et uranium, nickel peu abondant. — Type Schneeberg.

5° Filons quartzeux de cobaltine aurifère.

On remarquera, dans cette énumération des filons cobaltifères, que le

[1] Bismuth au Val d'Anniviers, à Tunaberg, Sainte-Marie-aux-Mines, Schneeberg; molybdène à Skuterud, Tunaberg, Gladhammar, Balmoral; étain au Riesengebirge; uranium à Schneeberg.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

cuivre, le bismuth et l'argent peuvent y apparaître aussi bien avec une gangue carbonatée qu'avec une gangue quartzeuse : le bismuth étant plus fréquent avec le quartz, mais se présentant aussi avec la calcite. Le nickel tend à s'effacer quand le type devient franchement quartzeux. Le mercure apparaît exclusivement dans les filons carbonatés. L'étain, l'uranium et l'or sont réservés aux filons de quartz. Le manganèse tend parfois à se développer avec l'argent, de préférence dans une gangue quartzeuse (Schneeberg, Montana). Le plomb et le zinc sont d'ordinaire très subordonnés.

En ce qui concerne l'âge, il ne s'établit aucune démarcation nette. Quant à la relation avec les roches, on croit voir parfois certaines affinités : avec des gabbros ou diabases (Ontario, à gangue carbonatée) ; avec des porphyres (Dachkessan, à gangue de silicate) ; parfois aussi des rapports avec des granites ou roches acides (Skuterud, à gangue quartzeuse ; Dachkessan, Schneeberg, à gangue quartzeuse et parfois carbonatée).

A. et B. — INCLUSIONS ET SÉGRÉGATIONS

Nous ne rappelons que pour mémoire l'existence de ces deux groupes, où le cobalt est toujours subordonné au nickel et souvent au cuivre. Ils ont été décrits au chapitre précédent. On sait que le cobalt est fréquent dans les météorites. Il se retrouve dans le fer natif de Cañon Diabolo. De même, les péridotites de Nouvelle Calédonie contiennent partout du cobalt, qui forme, par altération superficielle, les asbolanes dont il sera question plus loin (D). La paléopicrite de Dillenburg (Nassau), près des amas sulfurés signalés plus haut, renferme du cobalt, avec des traces notables de nickel (0,16 à 0,66 p. 100), du cuivre et du bismuth. Quant aux ségrégations de départ, comme les pyrrhotines du Canada, on a vu que la pyrrhotine cuprifère à 2-5 p. 100 de nickel renferme aussi 0,05 à 0,1 p. 100 de cobalt.

C. 1° — FILONS DE COBALT ET NICKEL A GANGUE CARBONATÉE (SIDÉROSE, CALCITE, DIALOGITE)

Classification. — La plupart des filons à gangue carbonatée que nous devrions décrire dans ce premier groupe ont été étudiés à propos du nickel, qui, d'ordinaire, s'y montre associé au cobalt (Dobsina, Chalanches, etc.), ou seront signalés plus loin avec le groupe 2° quand nous parlerons de l'argent qui y apparaît fréquemment (Ontario, Gistain). Nous nous contenterons donc ici d'en rappeler l'existence.

a) Dans les filons à gangue de sidérose (Dobsina, Chalanches, Schladming, Val d'Anniviers, Mansfeld, Piémont, on a vu que le cuivre est un élément très constant. Le bismuth apparaît au Val d'Anniviers comme il a toujours tendance à le faire quand le cobalt se développe. Aux Chalanches, on a des traces de mercure et de molybdène. Les rücken du Mansfeld, dont nous avons indiqué les conditions de gisement spéciales, sont souvent barytiques.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

b) Les filons cobaltifères à gangue de calcite sont souvent, en même temps, très argentifères. On n'y signale d'ordinaire ni le bismuth ni le cuivre. En revanche, le plomb et le zinc tendent parfois à apparaître (Gistain). Il est remarquable, comme nous le verrons plus tard, que l'argent accompagne si souvent la calcite, tandis que l'or ne le fait jamais. Nous citerons tout à l'heure de remarquables exemples de ce genre à l'occasion du groupe argentifère (types 2°). Cependant cette présence d'argent dans les filons carbonatés de cobaltine n'est pas indispensable. On ne la signale pas dans les gîtes, que nous allons décrire aussitôt, de Gistain et de Gothic.

c) La dialogite apparaît dans certains filons d'argent, en même temps cobaltifères, dont Schneeberg est l'exemple le plus typique. A Schneeberg, le reste de la gangue est d'ordinaire quartzeux (type 4°), mais parfois aussi entièrement carbonaté. L'association du manganèse silicaté et de l'argent se retrouvera plus tard, sans cobalt, au Montana.

Gistain (province d'Huesca)[1]. — Les gisements, aujourd'hui abandonnés, de Gistain dans la province d'Huesca (haut Aragon), à 15 km. de la frontière française, semblent faire partie d'une très importante formation filonienne qui traverse au voisinage les terrains permiens du Suelza par des fractures très nettes, avec une minéralisation ordinaire de blende, galène et pyrite à gangue de calcite, dans laquelle se seraient développés localement des minerais de cobalt et de nickel. Divers indices semblent indiquer un rapport de ces minerais avec des roches de profondeur.

On a exploité là de petits filons de puissance variable, au contact de schistes et de calcaires primaires : filons, qui étaient, paraît-il, en relation avec des porphyres et qui contenaient seulement des minerais sulfurés et arséniés de cobalt et de nickel à gangue de calcite. Ces mines, ouvertes une première fois au XVIII[e] siècle, ont été reprises en 1872, puis encore une fois abandonnées. Le minerai était envoyé en Saxe, à l'usine d'Oberschlema, après avoir subi un lavage et une préparation mécanique. Il contenait, après triage, 11 à 12 p. 100 de cobalt et 7 p. 100 de nickel et, pour le reste, de l'arsenic, du fer, du quartz et de la calcite. A l'état brut, la teneur était de 1/2 à 3 p. 100 avec maximum de 5 p. 100.

Gothic (Etats-Unis). — De même aux Etats-Unis, dans le Comté de Gunnison, on a signalé, près de *Gothic*, une veine de calcite encaissée dans un granite, qui tenait beaucoup de smaltine à 11-15 p. 100 de cobalt et d'autres minerais de cobalt.

Jaipur (Inde)[2]. — La présence du cobalt a été signalée anciennement dans l'Etat de Jaipur en Rajputana (d'où le nom de jaipurite donné à un sulfure de cobalt problématique). Cette jaipurite, qui est là en réalité de la cobaltine et que les indigènes nomment saita ou sehta, est associée avec du cuivre dans les mines de Babai, Bagor et Singhana de l'Etat de Jaipur. Les indous l'utilisent pour colorer en bleu des émaux.

[1] 1878. Rapport de JULES DESPESCHER, propriétaire des mines de Gistain.

[2] 1881. MALLET F.-R. *On cobaltite and danaite from the Khetri mines, Rajputana, with some remarks on Jaipurite* (Rec. India, 14, 190-196). — 1881. MALLET F.-R. *On the ferrugineous beds associated with the basaltic rocks of N.-E. Ulster, in relation to indian laterite* (Rec. India, 14, 138-148). — 1893. FUCHS et DE LAUNAY, 2, p. 90.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

C. 2° — FILONS DE COBALT ARGENTIFÈRE A GANGUE DE CALCITE AVEC CUIVRE FRÉQUENT ET UN PEU DE BISMUTH

TYPES ONTARIO, GUADALCANAL, etc.

Ce groupe se rapproche de certains gisements examinés au type 1° par la gangue de calcite ; mais il s'en distingue par l'abondance de l'argent, qui

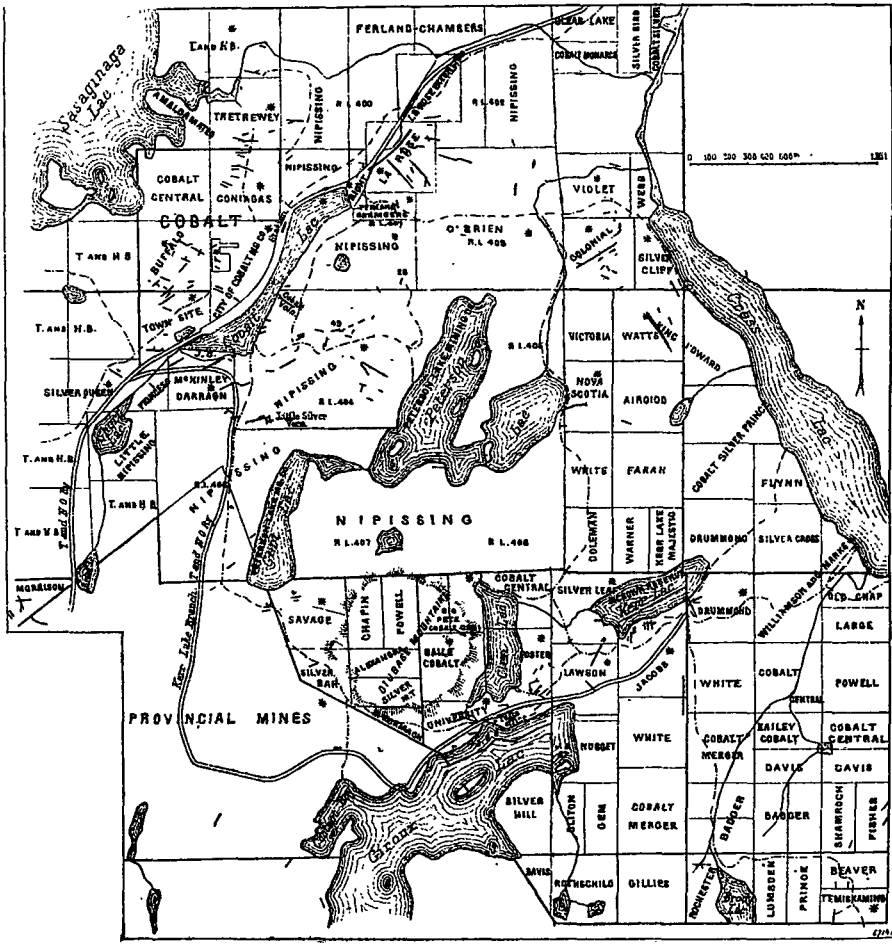


Fig. 295. — Carte des propriétés minières du Camp de Cobalt avec les veines découvertes en 1907.

Extraits du Rapport du Bureau des Mines d'Ontario pour 1907.

a généralement formé le principal élément industriel dans l'exploitation de ces filons. Nous y retrouvons, comme dans le type 1°, un peu de nickel et une proportion assez sensible de cuivre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

District de Cobalt au Canada. — Bien que ce district produise aujourd'hui à lui seul la totalité du cobalt consommé dans le monde, nous croyons devoir en remettre la description au chapitre de l'argent, le cobalt n'étant qu'un accessoire dans son exploitation industrielle, et nous nous bornerons ici à en marquer la place métallogénique avec les caractères principaux.

On verra plus loin qu'en relation probable avec des intrusions huroniennes de gabbros et de diabases, il paraît s'être détaché là des veines plus acides de pegmatite, parfois réduites simplement à du quartz, et qu'en dernier lieu d'innombrables craquelures verticales du sol se sont remplies, soit dans la diabase même, soit dans les conglomérats et schistes huroniens, par un groupement où dominent le cobalt et l'argent, avec bismuth, nickel et cuivre accessoires, le tout dans une gangue de calcite (fig. 295). Cette association du cobalt et de la calcite se retrouve dans les vides même de la pegmatite, à laquelle elle est donc postérieure. La métallisation se distingue totalement des minerais à nickel dominant, où le cobalt n'est qu'un accessoire, comme les pyrrhotines de la région voisine du Sudbury. On rentre, au contraire, malgré la nature carbonatée de la gangue, dans le groupe des gisements cobaltifères, dont nous allons bientôt signaler les analogies avec des filons d'étain et les rapports relativement directs avec des roches granitiques de profondeur.

On est conduit à se demander dans quelle mesure la forme de métallisation actuelle pourrait être le résultat d'une remise en mouvement superficielle remontant, soit à la période cambrienne pendant laquelle ces terrains ont été arasés avant de subir la transgression silurienne, soit à une autre phase de mise à nu plus récente, suivie d'un effondrement en masse qui aurait préservé ensuite ces produits altérés de la destruction. C'est un problème qui se pose fréquemment dans les gisements de ces plates-formes primitives, au Lac Supérieur, à Kongsberg, etc., et auquel il est actuellement impossible de répondre.

La richesse extraordinaire de tels gisements en argent ou en cuivre natif serait en faveur d'une altération, qui, à d'autres égards, ne paraît pas vraisemblable.

Guadalcanal. — Le gisement, autrefois important, de Guadalcanal, qui sera également décrit à l'occasion de l'argent, présentait des filons d'argent sulfuré et argent rouge associés, avec des minerais cobaltifères et parfois avec du cuivre gris, dans une gangue de calcite.

C. 3° — FILONS COBALTIFÈRES A GANGUE QUARTZEUSE AVEC MÉTAUX DU GROUPE STANNIFÈRE

TYPES SKUTERUD, TUNABERG, DACHKESSAN, RIESENGEBIRGE

Généralités. — Ce type, généralement riche en cuivre, se distingue d'abord des précédents par la rareté du nickel. En revanche, on y voit apparaître : le molybdène et la tourmaline à Skuterud ; le bismuth, le molybdène et le cuivre à Tunaberg ; le molybdène, le cuivre et excep-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tionnellement la stibine à Gladhammar ; l'étain dans le Riesengebirge ; le molybdène à Balmoral ; la tourmaline à San Juan du Chili, etc. La présence de la magnétite est parfois assez caractéristique (Riesengebirge, Dachkessan).

Beaucoup de ces gisements semblent liés à un métamorphisme régional de profondeur, en relation lui-même avec l'introduction de magmas granitisants (Skuterud, Gladhammar, Riesengebirge, Balmoral, etc.). Près de quelques-uns, on trouve de la pegmatite comme avec les filons d'étain. Parfois également, on se trouve en présence d'un véritable gîte de contact (type Banat), où le cobalt se trouve intervenir à titre moins exceptionnel que d'habitude (Dachkessan). Plusieurs de ces gisements et, en particulier, les gîtes de contact, présentent le cobalt dans une gangue de silicates divers, que l'on retrouve à Skuterud, comme à Balmoral au Transvaal, dans le Dachkessan, etc.

Fahlbandes cobaltifères de Skuterud et Snarum en Norvège[1]. — Au Sud de la Norvège, près Modum et un peu au Nord de Drammen, des fahlbandes cobaltifères de 100 à 200 m. de large s'intercalent dans une série de terrains métamorphiques (gneiss, micaschistes, quartzites, etc.) d'âge probablement paléozoïque, au voisinage d'amphibolites que l'on a considérées comme des gabbros et des diabases transformés (sans intervention probable sur le gisement). Ces fahlbandes, à peu près interstratifiées, comprennent des terrains divers et, notamment, des quartzites imprégnés de quartz, tourmaline, etc., avec cobaltine et autres minerais de cobalt, chalcopyrite, pyrrhotine, parfois molybdénite [1].

La minéralisation est, en général, très pauvre. A peine 3 p. 100 de la fahlbande minéralisée sont susceptibles d'être envoyés aux pilons. Mais il y a des enrichissements suivant certaines zones riches en salite, avec anthophyllite et plagioclase. Les minerais sont souvent englobés dans les grenats des amphibolites contiguës. Il ne semble pas que cette imprégnation ait été produite par des filons proprement dits. Quelques filons, que l'on rencontre, lui sont postérieurs. Nous serions disposés à y voir l'effet d'une imprégnation diffuse, qui se relierait probablement au retour en profondeur dont est résulté le métamorphisme régional, et qui, par conséquent, se rattacherait aux magmas granitisants. Nous avons, en effet, remarqué précédemment la localisation ordinaire de ce type de fahlbandes, où la minéralisation peut d'ailleurs varier de nature, dans de telles zones de terrains schisteux ramenées en profondeur[2]. On remarquera, en outre, ici le développement de la tourmaline et la présence de la molybdénite : par conséquent des caractères de formation acide associée aux granites [3]. Au contraire, le nickel n'accompagne pas son compagnon ordinaire, le cobalt.

L'exploitation, commencée en 1872, a été, vers 1880, dirigée par une société saxonne, qui expédiait ses minerais en Allemagne.

[1] 1880. KJERULF. *Geol. d. südl. Norwegens*, p. 323. — BECK. *Loc. cit.*, 2, 117, avec bibliog.

[2] Voir sur les fahlbandes : t. 1, p. 94 ; t. 2, p. 597 à 600.

[3] Des filons d'un granite postérieur à grain assez gros, dirigés S.-W.-N.-E., traversent le gisement sans influer sur lui.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Gites cobaltifères de Suède : Gladhammar, Tunaberg, Vehna, etc. [1]. — En Suède, les minerais de cobalt, souvent associés à des minerais de cuivre, sont assez abondants dans le grand district métallifère qui s'étend de Nyköping à Westerwick, le long de la Baltique.

On peut rapprocher du gîte norvégien de Skuterud, celui de *Gladhammar*, où l'imprégnation de cobalt et de cuivre porte sur des leptynites intercalées dans des terrains recristallisés par le métamorphisme de profondeur.

La mine de Gladhammar, à 14 km. Sud de Westerwik, a été exploitée d'abord au XV^e^ siècle pour fer, puis, à diverses reprises, pour cuivre (le cobalt et le nickel étant alors une gêne) et enfin, de nos jours, pour cuivre et cobalt. Les gisements se trouvent au milieu des leptynites et forment des lits de différentes largeurs avec ramifications latérales sur plus de 2 km. de long. Les minerais sont souvent accompagnés de hornblende, chlorite et magnétite ; ils se composent de cobaltine (à 30 p. 100 de cobalt), d'érythrine, de pyrite de cuivre, de pyrite de fer, exceptionnellement de blende et de galène. Dans la partie N.-W. du champ métallifère, à la mine Ryss, on a trouvé un peu de stibine avec la pyrite de cuivre ; au Sud, de la molybdénite.

Les principales mines que l'on a exploitées sont, du Sud au Nord :

La mine Bonde : minerais de cobalt et nickel avec blende et galène, atteignant 1 m. de large et reconnus sur 20 m. de profondeur ;

La mine Holtandare ou Baggen : cobaltine avec pyrite de cuivre et minerai de fer ;

Les mines Svensk, Odelmark, Knut : cobaltine et sulfure de cobalt, etc.

Ces mines, en 1880, occupaient 130 personnes.

Au Nord du même district, se trouvent, à environ 15 km. Sud de Nyköping, les mines, autrefois importantes, de *Tunaberg*, que nous rapprocherons des précédentes à cause de leur groupement géographique.

Il existe là, au milieu des gneiss gris, un banc de calcaire saccharoïde, dans lequel et au contact duquel les minerais sont localisés. Ces minerais forment, dans ce calcaire, des nids très irréguliers, composés surtout de cobaltine avec un peu de chalcopyrite et de galène. Comme corps accessoires, Erdmann a cité l'érubescite, la chalcosine, la pyrrothine, la smaltine, la pyrite, le bismuth natif, la molybdénite, etc.

Les gneiss et le calcaire sont traversés par des filons de granite, qui, dans le calcaire, perdent leur continuité pour se diviser en tronçons indépendants.

L'exploitation de ce gisement a été très active dans la seconde moitié du XVIII^e^ siècle ; dans notre siècle, elle n'a été qu'intermittente.

D'autres mines de cobalt, en Suède, ont existé à *Vehna* (près d'Orebro), depuis 1809. En 1880, elles donnaient 30 t. de minerai.

Querbach et Giehren (Riesengebirge). — Dans les micaschistes, près du contact du gneiss, on a, à Querbach et Giehren, une zone d'imprégnation comprenant cobaltine, chalcopyrite, pyrite, pyrrhotine, mispickel, blende, galène, magnétite et en même temps, cassitérite. Ce type rap-

[1] 1849. DUROCHER. *Observ. sur les gîtes métal. de la Suède et de la Norvège* (Ann. d. M., t. 15, p. 329). — BECK. *Loc. cit.*, 2, 120.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pelle donc beaucoup celui de Skuterud et des autres gisements analogues intercalés dans le cristallophyllien de Norvège et peut se relier de même au métamorphisme granitisant de profondeur.

Dachkessan (Caucase)[1]. — Il existe, non loin des gisements de cuivre de Kédabek[2], des imprégnations lenticulaires de minerais cobaltifères et cuprifères associés avec de la magnétite, et renfermant accessoirement de la galène et de la blende. Elles semblent se présenter dans les conditions des gîtes de contact type Banat en nids irréguliers dans une sorte de skarn serpentineux avec épidote, grenat et hornblende formant lui-même un filon-couche intercalé dans une porphyrite. Le cobalt paraît être ici un accident local dans une formation cuprifère très développée, dont nous reparlerons plus tard. L'exploitation a été ouverte par Siemens en 1860.

On a extrait des minerais à 17 p. 100 de cobalt avec 0.25 p. 100 de nickel et 32 p. 100 d'arsenic (1 200 kg., en 1887 ; 928, en 1888 ; 13 000 en 1889).

Balmoral (Transvaal)[3]. — A l'Est de Pretoria, au Transvaal, on connaît des filons de cobalt, dont l'âge prépermien est prouvé par la présence de leurs débris au voisinage dans le conglomérat de Dwycka. Ces imprégnations cobaltifères s'associent avec un agrégat cristallin de plagioclase et hornblende, qui peut correspondre à l'altération de quelque diabase. La présence de molybdénite rappelle cependant l'association du cobalt avec le groupe stannifère (bismuth, urane, etc.), et les rapports ordinaires de ce groupe avec les roches granitiques.

San Juan (Chili)[4]. — On retrouve au Chili l'association du groupe cobalt et cuivre avec la tourmaline que nous avons signalée plus haut à Dobsina et qui correspond au départ granitique de type stannifère dont nous avons souvent cru trouver l'indication. Près de San Juan (province d'Atacama), des schistes amphiboliques et des diorites sont traversés par des filons, où le cobalt et la tourmaline paraissent, d'après l'examen microscopique, de formation simultanée.

Signalons, à ce propos, une abondante association filonienne de mispickel aurifère et de tourmaline que nous décrirons plus tard au Brésil.

C. 4° — FILONS A GANGUE QUARTZEUSE DE COBALT ARGENTIFÈRE AVEC BISMUTH ET URANIUM, NICKEL PEU ABONDANT

TYPES SCHNEEBERG, SAINTE-MARIE-AUX-MINES, etc.

Le type le plus net de ce genre de formations est donné par le grand district de *Schneeberg*, qui sera étudié ultérieurement et où des filons à gangue de quartz, en relation probable avec un granite, présentent du

[1] Voir, au chapitre du cuivre, tome 3.

[2] Beck. *Loc. cit.*, 1, 152. — De Launay. *Richesses minérales de l'Asie*, p. 587.

[3] 1901. Molengraaff. *Géol. de la Rép. Sud-Africaine*, p. 69. — 1904. Dörffel. *The Balmoral Cobalt Lodes* (Tr. geol. soc. of S. Africa, t. 6, 5e part., p. 93-94). — 1904. Horwood. *The red granite of Balmoral and its relation to the Cobalt Lodes* (Tr. Geol. Soc. S. Af., p. 110-115). — 1907. Beck. *Notes on the Cobalt Lodes of the Transvaal* (Tr. Geol. Soc. S. Af., t. 10, p. 10-12). — 1909. Beck. *Erzlagerstätten*, 1, 513.

[4] 1906. Stutzer. *Turmalin führende Kobalterzgänge* (Z. f. pr. G., p. 294-298).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

cobalt argentifère associé à du bismuth, de l'uranium, du carbonate de manganèse et de la tourmaline.

La même association du nickel, du cobalt et de l'argent dans des filons quartzeux se retrouve en Alsace, dans les Vosges, à *Sainte-Marie-aux-Mines* (Markirch), à *Schiltbach*, dans la Forêt-Noire, etc [1].

C. 5° — ASSOCIATION DU COBALT ET DE L'OR

Le Transvaal présente une association de cobalt avec l'or, en même temps qu'avec le cuivre, intéressante à signaler. Le fait correspond à l'association si intime que nous signalerons plus tard entre l'or et le groupe stannifère. A *Laatsedrift*, district de Middelburg, des filons, encaissés dans la norite, renferment pyrite, chalcopyrite et smaltine avec forte teneur en or. A *Kruisrivier*, dans le district de Middelburg, on a trouvé aussi des smaltines très aurifères [2].

Nous citerons également les asbolites aurifères du *Chili :* minerais d'altération où le cobalt est associé à l'or.

D. — ALTÉRATIONS SUPERFICIELLES. ASSOCIATION DU COBALT ET DU MANGANÈSE

L'altération superficielle de roches, de terrains ou de filons renfermant une certaine proportion de cobalt, tend d'ordinaire à accroître la proportion relative du cobalt par rapport au nickel, comme elle augmente celle du manganèse par rapport au fer, du baryum ou du magnésium par rapport au calcium. Il se produit alors des associations de cobalt et de manganèse tout à fait caractéristiques, les asbolanes. Nous avons, d'autre part, à l'occasion des filons de cobalt argentifères [3], signalé la possibilité qu'un phénomène du même genre ait contribué à la concentration simultanée de l'argent et du cobalt.

Le type des asbolanes, ou asbolites, est surtout connu en Nouvelle-Calédonie, où il forme d'importants gisements superficiels associés aux gisements de nickel et de chrome précédemment décrits [4]; mais on le retrouve également, toujours dans les mêmes conditions d'altération superficielle, en divers autres pays.

Nouvelle-Calédonie [5]. — Nous avons vu, à l'occasion du nickel, comment les péridotites saines ou altérées, qui couvrent un tiers de la superficie de l'île, renferment toujours quelques dix millièmes, parfois quelques millièmes de nickel et de cobalt, avec prédominance marquée du nickel. L'altération par les eaux de surface a opéré une séparation, en

[1] Voir au chapitre de l'argent.

[2] 1899. Oehmichen. *Goldhaltige Kobaltgänge in Transvaal* (Z. f. pr. G., 271-274). — 1903. L. De Launay. *Rich. min. de l'Afrique*, p. 160.

[3] Tome 2, page 612.

[4] Tome 2, pages 579 à 585. Divers gisements d'asbolane se sont trouvés signalés, t. 2, p. 333, 531, 539. 571. Voir, plus loin, p. 691, 692, 704.

[5] 1904. Glasser. *Rich. min. de la Nouvelle-Calédonie*, p. 239 à 279.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

raison de laquelle nous avons vu les hydrosilicates magnésiens de nickel, ne retenant plus que des traces infimes de cobalt, se fixer sur les péridotites, tandis que les asbolanes formaient, dans les produits de décomposition, des rognons ou des concrétions presque épurées en nickel, ou, exceptionnellement, des enduits sur les roches. Ces concrétions cobaltifères sont des rognons caverneux ou des concrétions mamelonnées, dont la dimension est rarement supérieure à celle du poing. On les trouve déposées en traînées peu régulières dans l'argile, parfois presque au contact de la serpentine sous-jacente, ailleurs en plusieurs assises étagées. Les blocs sont tendres et friables, légers, souvent sectiles; ils donnent, sous les coups de pics, une trace brillante, qui seule permet de les distinguer des rognons ferrugineux ou manganésifères.

La teneur, même dans les minerais soigneusement triés et lavés, ne dépasse guère 10 p. 100 d'oxyde de cobalt. Il s'y associe des oxydes de fer et de manganèse.

En outre, la silice libre accompagne toujours le cobalt, comme elle s'associe d'ordinaire au manganèse. Pratiquement, le minerai marchand tient de 3 à 6 p. 100 d'oxyde.

L'exploitation du cobalt a commencé en 1876, entre Nakety et Canala. Depuis 1883, on a pu exporter, en vingt ans, environ 60 000 t. de minerais à 4 et 5 p. 100. En 1901, on a extrait 2552 t., dont 900 à Tiebaghi et 500 à Poume. En 1905, on est monté à 7 919 t.

Mais cette exploitation, qui avait conquis le monopole du cobalt dans le monde [1], a été totalement ruinée par les gisements de l'Ontario.

New South Wales. — Des asbolites analogues à celles de Nouvelle-Calédonie ont été exploitées dans les mêmes conditions près de Port Macquaire (New South Wales) sur l'affleurement altéré d'une serpentine dans les argiles rouges ferrugineuses.

Chili. — Le Chili exporte un peu d'asbolites légèrement aurifères.

Vœl Hiraddog (Angleterre)[2]. — Il a existé, en Angleterre, quelques gisements filoniens de cobalt dans le Cornwall, tels que : *Gwennap* où, dès 1754, on exploitait le cobalt et le bismuth ; *Wheal Trugo*, près de Saint-Columb Major, où, au XVIII[e] siècle, on rencontra un nid de cobalt à l'intersection d'un filon de cuivre ; *Botallack; Saint-Austell,* etc. Mais la seule mine de cobalt qui ait été encore exploitée dans ces dernières années se trouve à *Vœl Hiraddog* (ou Fael Hiraddug) près de Rhyl dans le Flintshire et présente un type intéressant d'asbolite concentrée superficiellement dans des poches d'argile analogues à celles où on trouve les minerais de fer du Berry, les phosphates du Nassau : probablement par altération, presque sur place, d'un ancien filon cobaltifère.

Le calcaire carbonifère de cette région contient de nombreuses cre-

[1] Voir plus haut, p. 606. — Les minerais néo-calédoniens étaient autrefois traités, au moyen du procédé Herrenschmidt, par deux sociétés principales : les établissements Malétra à Rouen et la Société le nickel à Kirkintilloch, près Glascow.

[2] 1882. LE NEVE FOSTER. *On the occurr. of cobalt ore in Flintshire* (Trans. R. g. Soc. of Cornwall). — 1883. D'ACHIARDI. *I metalli.* etc., t. 2, p. 28-53.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

vasses ou poches (swallows ou pockets) remplies de minerais de fer, où l'on a reconnu, d'abord, la présence du manganèse et du cobalt sous forme de veines oxydées noires. En examinant mieux ces minerais, on y découvrit des noyaux cobaltifères, dont voici la composition :

Cobalt oxydé	37,40	26,63
Oxyde de nickel	8,58	0,85
Oxyde de manganèse	23,12	39,50
Oxyde de fer	13,85	15,10
Silice	0,45	2,00
Alumine	0,10	0,50
Eau	16,00	15,00

La figure 296 montre une crevasse de 80 m. de profondeur, 2 à 3 m. de large et environ 27 m. de longueur horizontale. Cette crevasse, encaissée dans le calcaire, est remplie d'argile rouge avec des paquets d'hématite, des grains de wad, d'asbolane et de minerais de cobalt et des fragments de calcaire. Ces grains, qui peuvent atteindre la dimension d'un œuf, sont noirs et assez tendres. Ils sont irrégulièrement répartis dans la masse, qui est loin d'être partout cobaltifère. La teneur en cobalt est à peine de 1 p. 100 et celle en nickel de 0,4 à 11 p. 100. Le gisement a été découvert en 1870. La production a été, en 1881, de 63 t. valant 7 500 fr., soit environ 156 fr. la t. On a supposé que le cobalt venait de filons pyriteux assez abondants dans ce calcaire, et eux-mêmes en relation avec toute une venue métallifère où l'on trouve de la galène, de la fluorine, etc.

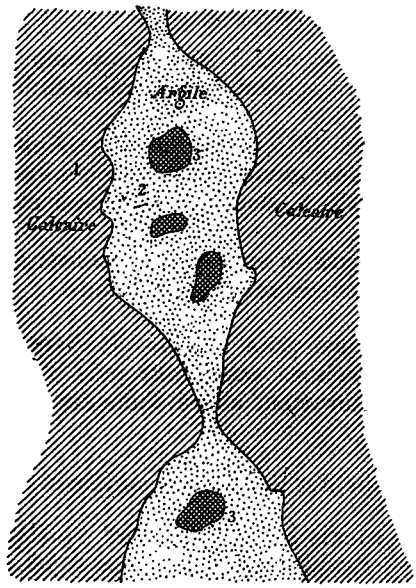


Fig. 296. — Coupe du gîte cobaltifère de Vœl Hîraddog.
1, calcaire. — 2, argile. — 3, minerai.

Etats-Unis. — La mine de *la Motte*, en Missouri, fournit une quantité notable de minerais de cobalt et de manganèse qui sont exportés en Angleterre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

CHAPITRE XL

CUIVRE

Cu = 63,57

a) USAGES DU CUIVRE

Le cuivre, qui existe dans la nature à l'état métallique et dont les minerais attirent facilement l'attention, a été connu et employé dès l'antiquité la plus reculée, d'abord seul, puis allié à l'étain. Son usage en masses importantes a précédé celui du fer, réservé longtemps aux tout petits objets et, pendant des siècles, on s'en est servi pour fabriquer la plupart des armes et des instruments aratoires. A cet égard, il a été entièrement remplacé par le fer ; mais, actuellement, les qualités électriques supérieures du cuivre amènent en sa faveur un retour, qui développe puissamment ses applications sous la forme de câbles, fils, etc...[1] Si l'on joint à l'électricité la marine, on a nommé les deux principaux consommateurs de cuivre.

Dans la plupart de ses applications, notamment en électricité, le cuivre doit être très pur. 2 à 3 p. 100 d'oxyde cuivreux, 0,5 p. 100 de soufre, 1 d'arsenic, 0,15 de plomb, 0,12 de bismuth suffisent à le rendre cassant. Cependant la présence du phosphore, ou d'une très petite dose d'arsenic (moins de 0,4 p. 100), peut être favorable.

D'une façon générale, les usages de ce métal sont assez connus pour qu'il suffise de les rappeler ici sommairement. On utilise : soit le métal lui-même ; soit ses alliages (bronze, laiton, maillechort, tombac, etc.) ; soit ses sels, en particulier le sulfate de cuivre.

Le cuivre proprement dit est désigné dans le commerce sous le nom de cuivre rouge ; le cuivre jaune n'est autre chose que du laiton.

Le *cuivre rouge* se recommande par sa grande malléabilité, sa conductibilité pour la chaleur et l'électricité, la lenteur de son oxydation à l'air. Il est vendu brut, en plaques et lingots ; travaillé, en planches laminées, en barres, en tubes, en coupoles pour distilleries, raffineries, sucreries, en plaques de foyer de locomotives ; en plaques de doublage pour la marine ; en fils pour l'électricité, etc. La tréfilerie du cuivre a surtout pris un essor énorme. Pour éliminer les dernières traces d'oxygène, on emploie

[1] La conductibilité électrique du cuivre est les 96 p. 100 de celle de l'argent. A zéro degré, la résistivité est de 1,353 microhm-centim. Le point de fusion est de 1090°. Le cuivre se solidifie avec augmentation de volume.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

quelquefois du phosphore ou du silicium, dont on laisse le moins possible dans le métal définitif. On élabore également un peu de cuivre par galvanoplastie.

Parmi les *alliages de cuivre*, nous citerons, avant tout, le *laiton*.

C'est un alliage de cuivre et de zinc, moins altérable à l'air que le cuivre rouge et contenant, presque toujours, de petites quantités de plomb, de fer et d'étain, qui lui communiquent des qualités particulières.

Le laiton destiné au tour est composé de : Cu = 61 à 65 ; Zn = 36 à 58 ; Pb = 2 à 2,05 ; Sn = 0,20.

Le plomb et l'étain sont destinés à lui donner de la sécheresse, afin qu'il ne graisse pas l'outil.

Le laiton des tréfileries, qui doit surtout être tenace, contient plus d'étain et moins de plomb : Cu = 64,2 ; Zn = 35 ; Pb = 0,40 ; Sn = 0,40.

Le laiton forgeable tient environ 40 p. 100 de zinc. Le laiton malléable pour cartouches renferme 33 p. 100 de zinc.

Parmi les usages du laiton, nous citerons le doublage des navires, les tubes (pour appareils à gaz, suspensions de lustres, de candélabres, ornementation des appartements, etc.), les fils, la robinetterie, les épingles (que l'on fait cependant de plus en plus en acier).

Le *bronze* est un alliage de cuivre et d'étain ayant les compositions suivantes :

	Cuivre	Etain	Zinc	Plomb.
Bronze pour pièces mécaniques. .	84 à 92	8 à 16		
— dur pour pièces frottantes.	82	18		
— mou au plomb	80 à 85	10		5 à 10
— des cloches.	75 à 82	18 à 25		
— des monnaies.	94	5	1	

On fabrique également : des bronzes d'aluminium tenant de 5 à 10 d'aluminium et 95 à 90 de cuivre, extrêmement tenaces et susceptibles d'un très beau poli ; des laitons d'aluminium à 64-69 de cuivre, 20-25 de zinc et 10 d'aluminium.

D'autres alliages de cuivre et de zinc sont : le *similor ;* le *métal du prince Robert,* employé pour la fabrication des faux bijoux, contenant 80 à 88 p. 100 de cuivre et 20 à 12 p. 100 de zinc suivant le ton de jaune plus ou moins vif qu'on veut obtenir ; le *chrysocale* (bijoux faux) : (Cu = 92 ; Zn = 6 ; Sn = 2) ; le *tombac ou cuivre blanc* (instruments de physique) : (Cu = 97 ; Zn = 2 ; As = 1).

Le *maillechort,* ou *argentan,* est un alliage de cuivre, de zinc et de nickel ayant la couleur et la sonorité de l'argent : (Cu = 50 ; Zn = 25 ; Ni = 25).

On l'utilise pour la fabrication de couverts argentés par voie galvanique, de réflecteurs, d'ustensiles de cuisine, cafetières, plats, couverts, etc., de garnitures de couteaux et de porte-plumes, de boîtes de montres communes, d'objets de sellerie, etc. Le service de la guerre emploie des bandes de maillechort.

Parmi les *sels de cuivre,* il en est un qui est aujourd'hui l'objet d'un commerce important, c'est le *sulfate de cuivre.* Ses propriétés antiseptiques le font employer contre les maladies de la vigne, pour l'injection des bois, le chaulage des grains de semence. Ce sulfate est généralement obtenu,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

non plus comme autrefois en faisant agir directement l'acide sulfurique sur le cuivre avec brassage à l'air, mais en remplaçant, dans les piles Bunsen, le zinc par le cuivre : ce qui donne, comme sous-produit, de l'électricité livrable à très bon marché. Le sulfate sert, en outre, à produire du noir, des lilas et des violets dans la teinture. La galvanoplastie et le garnissage des éléments Daniell en consomment d'assez fortes proportions[1].

Comme autres sels de cuivre, nous nous contenterons de citer : le *vert de Brunswick* (oxychlorure : CuCl, 3 CuO + 4 H^2O) employé en peinture ; le *vert de Scheele* qui est un arsénite de cuivre ; le *vert de Schweinfurt*, combinaison d'arsénite et d'acétate ; le *vert minéral*, carbonate bibasique et la *cendre bleue*, carbonate sesquibasique qui était très employé pour les papiers peints avant que l'outremer artificiel fût descendu à bas prix.

Le carbonate bibasique naturel, sous la forme de *malachite*, est utilisé comme pierre d'ornement.

La consommation du cuivre a passé de 300 000 t. en 1890 à 512 000 t. en 1900 et 894 000 t. en 1910. Aux Etats-Unis, en particulier, on a monté, pour les mêmes dates, de 90 000 t. à 250 000 t. et 341 000 t. En 1910, l'Allemagne a pu consommer 200 000 t. ; l'Angleterre 146 000 ; la France, 80 700 ; l'Autriche-Hongrie 33 500 ; la Russie 28 600 ; l'Italie 23 200 ; la Belgique 13 000, etc.

Les Etats-Unis, qui tiennent la tête pour la production et la consommation, importent de grandes quantités de minerais étrangers et même de cuivre brut destiné au raffinage électrolytique. Leur exportation (importations déduites) était de 160 000 t. en 1900 ; 196 000 t. en 1910.

b) STATISTIQUE DU CUIVRE

La production mondiale du cuivre a eu une ascension extrêmement rapide qui, d'environ 20 000 t. au début du XIX^e^ siècle, l'a fait passer à 890 000 t. en 1911.

En 1807, cette production que je rappelle à titre historique, était fournie par la Grande Bretagne (10 000 t.) ; Russie (3 400 t.) ; Autriche (3 000 t.) ; Chili (1 500 t.) ; Suède (1 100 t.) ; Allemagne (1 000 t.).

En 1850, une production totale de 49 000 t. se répartissait encore ainsi : Angleterre, 26,8 p. 100 ; Chili, 22,9 ; Russie, 11,8 ; Australasie, 6,4 ; Cuba, 6,3 ; Autriche-Hongrie, 6,0 ; Asie, 5,4 ; Scandinavie, 3,7 ; Allemagne, 2,6, etc. et seulement 1,2 p. 100 aux États-Unis, qui fournissent aujourd'hui 58,25 p. 100 de la production mondiale.

Plus récemment, le monde a produit : 156 500 t. de cuivre, en 1880 ; 274 000 en 1890 ; 491 000 en 1900 ; 866 600 en 1910 ; 890 000 en 1911.

Voici, par ordre d'importance, la répartition des dernières années en milliers de tonnes[2].

[1] Le sulfate de cuivre, soit cristallisé, soit à l'état de magistral (pyrites de cuivre et de fer grillées) sert aussi dans l'amalgamation *mexicaine*. La *mine* de cuivre de Tepezala, à 90 km. de Zacatecas, a eu longtemps une sorte de monopole de cette production. Au détail, à Paris, le sulfate de cuivre ordinaire vaut 0,90 fr. le kg.

[2] Voir *The mineral Industry for* 1910, p. 152.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 41. — PRODUCTION MONDIALE DU CUIVRE (en mille tonnes, mt).

	1900	1905	1907	1908	1909	1910	1911
États-Unis	272,6	397,0	398,9	430,4	501,4	492,7	499,5
Mexique	22,5	65,4	57,5	38,2	57,2	59,7	54,9
Espagne et Portugal	53,7	45,5	50,5	53,4	53,0	51,0	52,0
Japon	24,3	35,9	40,1	41,4	43,0	46,7	46,0
Australasie	23,4	34,5	41,9	40,1	34,9	40,9	42,5
Chili	25,7	29,1	28,9	42,0	42,7	35,8	37,4
Pérou	8,3	12,2	20,7	19,9	16,2	18,6	28,5
Russie	8,2	9,5	14,8	18,2	18,8	22,7	26,0
Allemagne (Mansfeld, etc)	20,6	22,5	20,8	20,5	32,8	25,1	25,7
Canada	8,6	21,6	21,0	24,4	26,6	26,1	25,4
Afrique (C. de Bonne-Esp. etc.)	6,7	7,4	6,8	7,1	15,0	15,4	18,5
Norvège	4,0	6,4	7,1	9,3	9,2	10,6	»
Autriche-Hongrie	1,4	1,3	1,0	3,8	6,2	7,2	»
Cuba	»	»	1,4	2,9	3,0	3,5	4,5
Italie	2,8	3,0	3,3	3,0	2,7	3,2	»
Bolivie	2,1	2,3	2,5	2,5	2,1	2,5	»
Suède	0,1	1,4	1,6	2,0	2,0	2,0	»
Terre-Neuve	2,9	2,3	1,7	1,4	1,4	1,0	»
Turquie	2,3	0,7	1,2	1,0	0,8	0,6	»
TOTAL (avec divers)	491,0	689,9	722,6	758,0	854,7	866,6	890,0

Cet accroissement de la production du cuivre correspond nécessairement, sauf des surproductions momentanées, à l'accroissement de la consommation. La combinaison des deux éléments détermine le prix du cuivre, qui est assez variable et les modifications de celui-ci, comparées au prix de revient, entraînent la fermeture ou l'ouverture des mines, l'arrêt ou le développement des chantiers dans une mine déterminée. La question préjudicielle est donc de savoir à quel prix on peut se procurer le cuivre suivant les points : prix qui tend, en moyenne à s'abaisser avec les progrès industriels, mais qui peut, d'autre part, être relevé localement par l'approfondissement ou l'épuisement de certaines grandes mines, par les exigences sociales, etc... Nous donnerons plus loin quelques chiffres sur le *prix de revient*. En commençant ici par les résumer, on voit que, si on laisse de côté certaines extractions très momentanées de minerais riches, ce prix atteint un minimum de 500 à 600 fr. la tonne dans les grands amas pyriteux de Rio Tinto ou de Tharsis. Il est de 750 fr. à la Cape Copper (Afrique Australe). Il atteint environ 1000 fr. dans beaucoup de grandes mines américaines, à Clifton et à l'United Verde (Arizona), à l'Anaconda et à North Butte (Montana), 1250 à la Calumet and Arizona (Arizona), 1400 à l'Osceola (Lac Supérieur). Certaines mines d'Australie arrivent à près de 1800, mais produisent alors, en même temps, des métaux précieux.

Le tableau suivant, qui classe par ordre d'importance les grandes mines

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

du cuivre du monde, montrera aussitôt comment se répartit, entre quelques mines, une forte partie de cette production (320 000 t. sur 839 000).

TABLEAU 42. — PRINCIPALES MINES DE CUIVRE.

Mines.	Régions.	Productions de 1909.
Anaconda	Montana	37 000.
Rio Tinto	Espagne	35 500.
Calumet and Hecla	Michigan	33 600.
Boston and Montana	Montana	32 400.
Copper Queen (Bisbee)	Arizona	30 100.
Utah Copper	Utah	23 200.
Butte Coalition	Montana	18 000.
Mansfeld	Allemagne	17 500.
North Butte	Montana	16 200.
Arizona (Clifton)	Arizona	15 600.
Nevada Cons	Nevada	15 500.
United Verde (Jerome)	Arizona	14 850.
Copper Range	Michigan	14 700.
Calumet and Arizona (Bisbee)	Arizona	13 500.

Nous allons maintenant passer en revue les principaux pays producteurs, classés d'après l'ordre de leur production en 1911.

Etats-Unis. — Aux *Etats-Unis* la production venant des minerais nationaux se répartit comme suit, en milliers de tonnes :

TABLEAU 43. — PRODUCTION DU CUIVRE AUX ÉTATS-UNIS (EN mt).

ÉTATS PRODUCTEURS	1882	1902	1907	1908	1909	1910
Arizona	8,4	54,2	116,5	131,2	132,2	135
Montana	4,1	120,6	98,4	114,3	142	128,7
Michigan (Lac Supérieur)	25,9	77	99,7	100,7	102	99,5
Utah	0,3	10,8	30,9	33,1	47	56,2
Nevada	»	»	0,7	5,4	23	28,7
Californie	0,3	11,3	15,6	16,7	24	20,6
Etats du Sud (Alhabama, Caroline, etc.)	»	6,1	10,0	9,4	10,3	8,1
Colorado	0,7	3,8	6	6,2	4,6	4,5
Idaho	»	»	5,2	3,9	3,5	2,8
Alaska	»	»	3	2	1,8	2,2
Nouveau Mexique	»	»	3,8	3,8	2,3	1,6
TOTAL (avec divers)	43	293,0	398,9	430,4	501,4	492,7

La production réelle de cuivre est même très supérieure à ces chiffres, en raison des minerais étrangers qui viennent maintenant, du Mexique, du Canada, de Cuba, du Chili, du Pérou, etc, se faire traiter aux États-Unis. Elle a atteint, en 1911, 657 000 t. de cuivre brut. La consommation

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nationale en absorbe à peu près la moitié, soit plus du tiers de la production mondiale.

Quelques points du tableau 43 sont intéressants à signaler, comme marquant le si rapide développement des industries minières américaines depuis 1850 : année où l'on atteignait seulement 5 850 t.

La comparaison de 1882 avec 1902 ou avec 1910, telle que la détaille notre tableau, le montre déjà suffisamment. Il y a trente ans, le bassin du Lac Supérieur produisait seul plus de la moitié du cuivre nord-américain. Quoiqu'il ait quadruplé depuis lors, il n'en produit même plus le quart. Le Montana, après une période de développement colossal jusqu'en 1902, a fléchi et n'arrive plus à se maintenir. L'Arizona, qui a grandi rapidement jusqu'en 1908, tient maintenant la tête. Le Nevada a eu un rapide essor depuis 1909. Enfin l'Utah, et les Etats du Sud sont entrés récemment en ligne de compte.

Dans l'ensemble, ces mines, à l'occasion desquelles la spéculation se donne libre essor, sont particulièrement sensibles à ses inflexions et à ses chutes. Il est arrivé qu'en 1908 on a fermé un certain temps les principales mines du Montana. Cependant la crise de l'hiver 1907-1908, malgré la baisse de prix qu'elle a entraînée, n'a pas arrêté la surproduction préparée pour 1908 et la baisse ne s'est fait sentir qu'en 1910.

Vers 1885, la teneur moyenne en cuivre était : dans le bassin du Lac Supérieur, de 1,8 p. 100 ; dans le Montana, de 7 p. 100 ; dans l'Arizona, de 10 p. 100. Tant par la mise en valeur des minerais pauvres que par l'épuisement des minerais riches, ces teneurs se sont abaissées, et nous trouverons environ 0,87 p. 100, dans le Michigan (Osceola), 2,3 dans l'Arizona (Clifton), 2,8 dans le Montana (Anaconda).

Le prix de revient était, en 1885, de 1,15 fr. le kg. de cuivre dans le Montana ; il est actuellement de 1 fr. à l'Anaconda. Etant donné l'abaissement de la teneur, cela correspond à un grand progrès réalisé.

Reprenons maintenant ces Etats américains dans leur ordre hiérarchique.

Arizona. — Parmi les districts producteurs de l'Arizona, on peut citer surtout Bisbee, Clifton, Globe et Jérome.

Les mines qui tenaient la tête de la production en 1908, étaient par ordre : Copper Queen (Bisbee), United Verde (Jérome), Calumet and Arizona (Bisbee), Arizona (Clifton), Détroit (Clifton), Shannon (Clifton), Supérior and Pittsburg, United Globe (Globe), Impérial Copper.

A *Bisbee*, la Copper Queen Consol. a produit, en 1908, 34 480 t. et distribué 15 millions de dividende ; la Calumet and Arizona, 12 680 t., plus environ un million d'or et d'argent, avec un prix de revient de 1,25 fr. le kg.

A *Clifton*, trois sociétés, Arizona, Détroit et Shannon sont situées sur les mêmes dykes de roches feldspathiques. La compagnie de l'Arizona a produit 17 100 t. en 1908 contre 13 800 l'année précédente : les minerais ayant une teneur de 2,3 p. 100 et le prix de revient étant d'environ 1 fr. le kg.

Le district de *Courtland* a été mis en valeur en 1907.

Les principaux producteurs de *Globe* sont Old Dominion, United Globe, Miami.

Enfin, dans le district de *Jérome*, l'United Verde est la seule mine impor-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tante. Elle a donné, en 1908, 16 400 t. de cuivre, 15 300 kg. d'argent et 620 kg. d'or, avec un prix de revient de 1 fr. par kg. de cuivre.

Montana. — Le district de *Butte* produit environ 85 p. 100 du cuivre fourni par le Montana, en occupant 16 000 hommes. Le tonnage journalier était, au début de 1907, d'environ 10 000 t. de minerai par jour pour Amalgamated, North Butte et Red Metal ; 3 000 t. pour Boston and Montana ; au total, 16 200 t.

La crise de 1907-1908 a eu un effet sensible sur ce district, où, le 10 décembre 1907, on a fermé la mine de Washoe à Anaconda et toutes les mines de Amalgamated, North Butte et Red Metal.

La mine principale du Montana est l'*Anaconda*, qui, en 1906, était montée à 1 300 000 t. de minerai et avait produit 43 000 t. de cuivre, 4 000 kg. d'argent, 492 kg. d'or, et une certaine quantité de poussières d'arsenic, donnant au total environ 100 millions de francs de bénéfice brut. La teneur moyenne de la tonne de minerai était d'environ 28,3 kg. de cuivre, 60 gr. d'argent et 0,34 gr. d'or.

Dans l'année 1907, les productions de minerais ont été les suivantes, en milliers de tonnes : Anaconda 879 mt. ; Boston and Montana 742 mt. ; North Butte 256 mt. ; Red Métal 211 mt. ; Butte and Boston 174 mt. ; Washoe 104 mt. ; Trenton 83 mt. ; Parrot 52 mt. Mais, en décembre 1907, on a arrêté un grand nombre des mines de la région. En même temps, cette crise a déterminé un abaissement notable du prix de revient, qui, à l'Anaconda, est descendu de 1,25 fr. le kg. à 1 fr. en 1909.

En 1908, la North Butte a produit 18 300 t. de cuivre à environ 1 fr. le kg. Butte Coalition a produit 9 690 t. à 1,15 fr.

Michigan (Lac Supérieur). — La production du Lac Supérieur, qui a été longtemps la principale des Etats-Unis, reste toujours considérable ; mais elle ne s'accroît plus et par conséquent, d'après la loi ordinaire, elle est, sans doute, appelée à baisser bientôt. Depuis 1905, on reste aux environs de 100 000 t. Voici, d'ailleurs, un tableau par ordre d'importance :

TABLEAU 44. — PRODUCTION DES MINES DU LAC SUPÉRIEUR
(EN MILLE TONNES, mt.)

MINES PRODUCTIVES	1882	1901	1907	1908	1909	1910
Calumet and Hecla.	14,5	37,3	41,6	36,9	33,6	32,7
Quincy	2,6	9,3	8,9	9,3	10,1	10,1
Osceola	1,9	6,3	6,4	9,6	11,4	8,7
Champion	»	»	7,4	8,0	8,1	8,6
Baltic	»	1,2	7,4	8,0	7,1	7,9
Ahmeek	»	»	2,3	2,8	4,1	5,3
Tamarack	»	8,1	5	5,8	6,0	5,0
Wolverine. . . .	»	2,3	4,2	4,3	4,5	4,7
Trimountain. . . .	»	»	3,6	2,8	2,4	2,6
TOTAL (avec divers).	25,9	70,4	99,7	100,7	102	95,5

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La *Calumet and Hecla*, qui dispute à l'Anaconda la première place parmi les mines de cuivre du monde, a produit, en 1906-07 : 41 670 t. de cuivre raffiné sur les filons Osceola et Kearsarge et sur la roche amygdaloïde de Kearsarge. A *Osceola*, on a broyé 730 500 t. pour obtenir 6 400 t. de cuivre raffiné (0,87 p. 100), avec un prix de revient de 10,50 fr. par tonne de minerai, soit, par kg. de cuivre, 1,40 fr. [1].

A diverses reprises, il a été question d'un groupement, qui réunirait en une seule société les principales mines du Lac Supérieur.

Utah. — L'Utah, dont la forte production est de date récente, a surtout réalisé ses progrès dans les dernières années par la mise en valeur de ce qu'on appelle les mines de porphyre de Bingham. La principale mine du district est l'*Utah Copper*, qui a produit 19 860 t. de cuivre en 1908, 23 200 en 1909, 38 400 t. en 1910, avec un prix de revient de 0,90 fr. le kg. L'*Utah Consol.* produit environ 5 000 t. de cuivre ; la *Boston Consol.* 1 500 t., avec 250 kg. d'or et 1 850 kg. d'argent. En dehors du district de Bingham, on travaille sur celui de Tintic.

Nevada. — Cet État a pris un développement considérable depuis 1907, passant d'un chiffre insignifiant à 28 700 t. La production vient de la Nevada Cons., qui a absorbé en 1910 la Cumberland-Ely. A elle seule, la *Nevada Cons.*, dans le district d'Ely, a produit 15 500 t. en 1909, avec des minerais à 2,06 p. 100.

A la *Cumberland-Ely* on a broyé, en 1908, 180 000 t. de minerai à 3,1 p. 100 de cuivre.

Californie. — Les progrès récents de la Californie tiennent surtout au développement du comté de *Shasta* [2], où la Mammoth Copper est le principal producteur. Cette Compagnie traite aujourd'hui les mattes de la région, que l'on envoyait autrefois à Salt Lake.

Colorado. — La moitié environ de la production de cet État vient de Leadville et un quart de San Juan.

Idaho. — La seule mine importante est la Snowstorm, dans le district de Cœur d'Alène.

Alaska [3]. — L'Alaska, de développement récent, avait atteint un moment 3 900 t. en 1906. Il est retombé à 2 200 t. Les deux districts principaux, à peu près équivalents, sont Prince William Sound et Ketchikan.

Nouveau Mexique. — La production vient surtout des comtés de Grant et Socorro, notamment de la Savannah Copper Cy.

Tennessee. — La principale mine de cet Etat est la Tennessee Copper.

[1] 1908. FINLAY. *Cost of Lake Superior and Montana Copper* (Eng. a. Min. j., 23 avril. cf. 4 juillet sur l'Arizona ; 25 juillet sur les autres grandes mines du monde).

[2] 1907. LIEBENAM. *Kupfervorkommen in Kalifornien und ihre wirtschaftliche Bedeutung* (Preus. Z. f. B. H. u. S., t. 55, fac. 4). — 1908. FORSTNER. *The genesis of the Copper ores in Shasta Cy, west of the Sacramento River* (Min. a S. ci Press, 22 août).

[3] 1908. KELLER. *The Copper River district, Alaska* (Eng. a. M., 27 juin). — 1908. MOFFIT and MADDREN. *The min. Res. of the Kotsina and Chitana Valleys, Copper River Region.* (Bul. 345. U. S. geol. Sur., 51 p.). — 1908. WRIGHT. *Copper deposits of Kasaan Peninsula, Prince of Wales Island* (Bul. 345, S. geol. Surv. et Econ. Geol. juil.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Mexique. — La production mexicaine a passé par un point haut en 1905 (65 400 t.) pour décroître fortement les années suivantes (38 200 t. en 1908); mais elle est remontée à 59 769 t. en 1910. Cette production vient, pour 13 000 t., de la Compagnie française du Boleo. Le reste est fourni par les mines d'Aguas Calientes, Cananea, Moctezuma, Teziutlan, qui exportent leurs minerais aux Etats-Unis. La Moctezuma a produit environ 7 000 t. en 1908.

Les mines du *Boleo* ont une production à peu près constante depuis 1893. Elles ont donné : en 1906, 304 000 t. de minerai à 3,63 p. 100, ayant fourni 11 000 t. de cuivre ; 11 506 t., en 1907; 12 600 en 1908; 12 426 en 1909 ; 13 003 t. en 1910. Le nombre des ouvriers est de 2 500 à 3 000. Le prix de revient par kg. est d'environ 1,10 fr. (1,30 en 1907, où l'on avait traité des minerais pauvres en profitant de la hausse du cuivre).

Espagne et Portugal. — La production espagnole, vient presque totalement de la région d'Huelva, où sont les grandes compagnies de Rio Tinto, Tharsis, San Domingos (Mason and Barry) et un assez grand nombre de petites mines dont la production tend à s'accroître.

La production de 1910 s'est divisée, entre les principales mines, de la façon suivante : Rio Tinto, 33 931 t., dont 22 790 t. sur place ; Tharsis, 4 429 t. ; Mason and Barry 3 003 t. ; Sevilla 1 900 t.

La mine de *Rio Tinto* a extrait, en 1908, 1 700 000 t. de minerais, dont 600 000 exportées et 1 100 000 traitées sur place. En 1910, on a obtenu 2 146 000 t., dont 637 000 à 1,83 p. 100 de cuivre exportées et 1 509 700 t. à 1,50 p. 100 traitées sur place. La teneur moyenne en cuivre a été, en 1910, de 1,60 p. 100 pour toutes les pyrites extraites. Si l'on remonte dans le passé, on trouve que cette teneur a atteint un maximum de 3,2 en 1884, puis de nouveau dépassé 3 p. 100 en 1894 pour décroître ensuite régulièrement (2,3 p. 100 en 1909). La production du cuivre en 1909 était de 35 500 t., dont 24 000 produites sur place. Montée une première fois à 32 500 t. en 1888, elle avait été de 34 000 t. en 1906, 32 000 t. en 1907. Le prix de revient est descendu à 0,50 le kg. L'exploitation tire un profit du soufre contenu. De 1876 à 1911, le Rio Tinto a exporté 16 569 000 t. de pyrites et en a traité sur place 33 190 000, pour obtenir aux mines 599 152 t. de cuivre (teneur : 3,60 p. 100).

La Compagnie de *Tharsis* a produit : en 1908, 440 000 t. de minerai et 4 427 t. de cuivre raffiné ; en 1909, 4 357 t. de cuivre ; en 1910, 4 429 t. Ce minerai provient, pour les quatre cinquièmes, de la mine de Calanas (au Sud de la Sarza) ; le reste de l'ancienne mine de Tharsis qui est presque épuisée. Le prix de revient est, comme à Rio Tinto, très bas, 0,50 fr., par suite des amortissements déjà pratiqués.

La mine portugaise de *San Domingos* (Mason and Barry) a produit, en 1907, 361 000 t. de pyrite et 600 t. de cuivre de cémentation. La production de 1910 équivaut à 3 003 t. de cuivre.

Japon. — La production de cuivre japonaise est en voie d'accroissement rapide.

En 1879, ce pays produisait 11 000 t. ; en 1890, 15 000. On est monté : en 1902, à 29 000 t. ; en 1906, à 37 000 t. valant 78 millions ; en 1907, à

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

38 000 t. valant 85 millions ; en 1908, à 41 400 t. ; en 1910, à 46 700. Le tonnage a donc doublé depuis dix ans.

Les principales mines productives sont : *Kosaka* (7 192 t. en 1908) ; *Ashio* (Totsigi), au Nord de Tokio, qui fournit un septième du cuivre (7 076 t. en 1908), après en avoir fourni autrefois la moitié, et *Besshi*, dans l'île de Shikoku, qui contribue pour 20 p. 100 au chiffre total (5 250 t. en 1908). Puis viennent une série de petites mines situées dans la province de Akita, au Nord de la grande île, comme Osarusawa, Ani, etc.) ; Hitachi (1900 t.) ; Ikuno à l'Ouest de Kioto (1 200 t.).

Australasie. — Les principales mines sont : Mount-Morgan en Queensland, Great Cobar en New South Wales, dont la première exploitation remonte à 1876, Mt Lyell en Tasmanie, Wallaroo et Moonta en Australie du Sud.

Mount Morgan, dans le Queensland, a vécu longtemps sur les minerais oxydés de la surface, aujourd'hui épuisés, et travaille maintenant des pyrites à 3,3 p. 100 de cuivre, qui renferment, en même temps, 13,4 gr. d'or à la tonne. Sa production a été, en 1907, d'environ 4 500 t. ; en 1910 de 6 820 t. La Mount Elliot s'est beaucoup développée en 1910. On travaille également à la Chillagoa (Queensland).

En Australie du Sud, la *Wallaroo and Moonta* a produit en 1909 : 4 400 t. de cuivre de sa mine Wallaroo et 1 800 t. de sa mine de Moonta ; au total, 6 200 avec un rendement moyen de plus de 8 p. 100 par tonne de minerai et des frais de traitement élevés de 1,85 fr. par kg. A la *Great Cobar* (New South Wales), on traite des minerais à 2,5 p. 100 de cuivre avec un peu d'or et d'argent, et la production de 1907 a été de 6 000 t. Enfin la *Mt Lyell* a produit, en 1907, 7 800 t. de cuivre, 600 kg. d'or et 17 500 kg. d'argent. En 1908, par suite de la baisse du cuivre, la production est restée stationnaire.

Chili. — Le Chili, qui produisait, en 1879, 50 000 t. de cuivre et qui tenait alors la tête de la production mondiale, est descendu à 16 000 t. en 1891. Dans ces dernières années, l'industrie cuprifère a fortement repris. Le Chili a produit : en 1910, 35 800 t. contre 28 854 en 1907, avec des minerais tenant 9,5 p. 100 en moyenne en 1908 et 6,48 p. 100 en 1910. Les fondeurs de Lota et de la Société de Atacama n'acceptent des minerais à 6 p. 100 que lorsqu'ils sont de très bonne qualité. Mais on commence à développer des mines à teneur inférieure, telles que la Braden, où l'on a reconnu 7 500 000 t. à 2,93 p. 100. Les mines, très nombreuses, sont généralement peu profondes, sauf à la Dulcinea de Puquois (Copiapo), qui atteint environ 1 000 m. La richesse des minerais tient à la profondeur exceptionnelle jusqu'à laquelle subsiste la zone d'oxydation superficielle avec enrichissement connexe : au moins 200 m. en moyenne ; près de 400 m. à la Dulcinea. Le manque de main-d'œuvre gêne le développement de cette industrie.

Pérou. — La production de cuivre au Pérou a été :

1903	9 497 tonnes.	**1908**	19 854 tonnes.
1904	9 504 —	**1909**	16 257 —
1905	12 213 —	**1910**	18 599 —
1906	13 474 —	**1911**	28 500 —
1907	20 681 —		

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dans ce total, le *Cerro de Pasco* à lui seul, intervient pour 15 000 t. ; Yauli pour 2 159 ; Huarochiri (Lima) pour 1 700. Nous retrouverons ces mêmes groupes à l'argent et ce sont ces mines également qui fournissent le peu de plomb extrait au Pérou.

Russie. — La production russe, après être restée longtemps stationnaire, a fortement augmenté depuis 1905 ; de 1905 à 1908, elle a doublé (18 200 t. en 1908, 22 668 t. en 1910, 26 000 en 1911). La moitié environ de cette production vient de l'*Oural* (8 560 t. en 1908, 10 550 en 1910), avec Medjnoroudiansk, Bogoslovsk, etc. Le *Caucase* (Kédabek, Akthala) fournissait 4 850 t. en 1908 ; il est monté à 8 200 t. en 1910. Enfin 3 000 t. (1910) viennent de la *Sibérie*, où s'est créée l'industrie nouvelle de la Spassky, dans le district d'Akmolinsk, qui, en 1910, a produit 1 641 t. de cuivre. Le marché du cuivre russe est protégé par des tarifs de douane et par un bonus de 33 p 100 accordé au cuivre national : mesures, à la faveur desquelles un syndicat s'est formé, en 1908, pour contrôler les neuf dixièmes de la production.

Allemagne. — La production de cuivre allemande, à peu près constante depuis bien des années, vient pour 85 p. 100 du *Mansfeld* qui, en 1910, a donné 20 275 t., sur 25 107 t. au total. Dans ce district, la profondeur actuelle est de 400 m. et on s'outille pour recouper la couche cuprifère entre 6 et 700 m. en introduisant la traction électrique.

Dans le reste de l'Allemagne, on peut citer le *Harz* avec le Rammelsberg.

Canada. — La production du Canada reste stationnaire depuis 1907. Dans le district de *Boundary*, les plus grosses compagnies sont la Granby qui a passé 790 000 tonnes de minerai en 1908 et la British Columbia (325 000 t.). La Granby a produit, en 1908, 9 500 t. de cuivre, 1 350 kg. d'argent et 181 kg. d'or.

Le district de *Rossland*, avec les mines Center Star et le Roi, produit, d'autre part, environ 2 400 t.

Cap de Bonne-Espérance. — La *Cape Copper Cy* a produit, en 1909-1910, 4 550 t. de cuivre (au total, 44 045 t. pour la période des dix dernières années), avec un prix de revient de 0,75 le kg. et la *Namaqualand C*^{y} 2 440 t. Les principaux gisements sont ceux de Nababeep, Ookiep, Narrap, Tweefontein.

Norvège. — Les principales mines sont celles de Sulitjelma, Foldal, Röros, Rustvangen, etc., qui exportent 250 000 t. de pyrite. La *Sulitjema*. a produit, en 1910, 4 950 t. de cuivre.

Cuba. — Cuba n'a commencé à produire du cuivre que depuis 1907 ; mais la production, représentée par des minerais et des mattes exportées aux États-Unis, a fait de rapides progrès (2 966 t. en 1908, 4 500 t. en 1911).

La Cuba Coper Cy a produit, en 1910, 50 000 t. de minerais siliceux tenant 5 à 12 p. 100 de cuivre.

Italie. — La plus grande partie du cuivre italien vient de la Toscane (Boccheggiano, Fenice, Capanne Vecchie, Monte Catini) et de la Ligurie (Libiola).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Bolivie. — Le grand producteur bolivien est le district de *Corocoro*, dont les mines sont appelées à prendre prochainement une extension nouvelle. Elles ont fourni, depuis 1880, 83 000 t. de cuivre. Leur profondeur atteint 480 m. La teneur moyenne est de 2,38 p. 100 de cuivre.

Terre-Neuve. — Deux groupes exploitent à Terre-Neuve : la Tilt Cove et la Cape Copper. La teneur moyenne est de 3,4 p. 100. La production est en décroissance notable depuis quelques années.

Angleterre. — L'Angleterre a produit : en 1908, 5 200 t. de minerais de cuivre, correspondant à 590 t. de cuivre ; en 1909, 3 600 t. de minerais, ou 440 t. de cuivre, venant : 144 t. du Cornwall, 115 t. d'Anglesey, 75 t. du Merionetshire, 45 t. du Devon, etc.

En Afrique, le **Katanga** et le district de Mindouli au **Niari** ont commencé, en 1911, à intervenir sur le marché.

c) COMMERCE DES MINERAIS DE CUIVRE.

Aujourd'hui, la plus forte partie de la consommation européenne en cuivre, et spécialement de la consommation française, est alimentée par les vendeurs nord-américains de cuivre électrolytique et de Lake Copper ou, très accessoirement, par le cuivre électrolytique du Japon et le cuivre natif de Corocoro. Cependant il arrive une certaine quantité de pyrites cuivreuses, de minerais concentrés et, accessoirement, de mattes, qui donnent lieu à un commerce, dont nous allons résumer les conditions générales. C'est ainsi que la France reçoit, outre les mattes du Boleo (traitées à Givet), des pyrites espagnoles, quelques minerais du Congo (Mindouli) et de l'Afrique Sud-Orientale allemande, des mattes d'Australie. A Swansea, on achète également des minerais concentrés du Chili, des mattes et minerais d'Australie, des minerais du Sud de l'Afrique (traités à l'usine de la Cape-Copper). Des minerais analogues arrivent également à Anvers et à Hambourg.

Ce commerce des minerais de cuivre est centralisé dans quelques grandes villes industrielles, qui se sont trouvées placées de manière à les recevoir facilement, tout en ayant le combustible en bon compte. A cet égard, une situation littorale était, en Europe, tout indiquée et c'est sur la côte, ou en communication facile par canaux avec celle-ci, que se trouvent les usines de Swansea, centre de la vieille méthode galloise, celles d'Hémixen près Anvers, des bords du Rhin, de Hambourg, de Givet, etc[1]. Aux Etats-Unis, les mines étant très éloignées de la mer et les débouchés du cuivre restant d'ailleurs en grande partie continentaux, il s'est créé, dans l'intérieur, des usines de fusion, qui rassemblent

[1] Le traitement des minerais de cuivre proprement dits ne se fait guère en France qu'à Givet (Ardennes). On peut très accessoirement signaler les usines qui traitent des minerais de Corocoro : tels que Biache Saint-Waast (Pas-de-Calais), Bassot et Cie à Harfleur, Couéron (Loire-Inférieure). L'élaboration du cuivre se fait surtout à Givet, aux Tréfileries du Havre et de Rugles ; puis dans les usines de la Société des Métaux : Givet, Sérifontaine et Bornel (Oise), Saint-Denis près Paris, Castel-Sarrazin. On peut signaler, en outre, la Société Electro-Métallurgique à Dives, Rai-Tilliers (Eure), Biache Saint-Waast, Neuve-Lyre à Laigle, Couéron, Bornel, Harfleur, Navarre (Evreux), Argenteuil.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

les minerais de toute une région comme celles de Washoe (Anaconda) pour le Montana.

Toute mine de cuivre qui s'installe doit examiner le degré de concentration, auquel il lui convient d'amener ses minerais ou ses mattes avant de les expédier aux grandes usines qui centralisent le traitement final. L'outillage de ces grandes usines et les facilités qu'elles ont pour combiner des lits de fusion, les avantages qu'elles peuvent en outre tirer de divers produits accessoires, compensent souvent le bénéfice auquel elles peuvent prétendre comme intermédiaire supplémentaire. Pour le traitement sur place, il reste à établir une balance entre l'économie à effectuer sur les transports des minerais en les enrichissant et l'accroissement de charges qui résulte presque toujours du prix plus élevé des combustibles sur la mine.

En fait, les minerais d'Europe, qui arrivent en France, descendent rarement au-dessous de 7 à 10 p. 100, à l'exception des pyrites, comme celles du Rio-Tinto, pour lesquelles le soufre apporte une valeur supplémentaire [1]. Les minerais d'Australie et d'Amérique du Sud, qui vont en Angleterre, ont une teneur minima de 20 p. 100.

Cependant, une certaine transformation tend à se produire, depuis quelques années, avec l'appauvrissement progressif des minerais traités qui tient à la fois à l'épuisement des minerais riches et aux progrès métallurgiques permettant de traiter des stocks de minerais pauvres. Plus le minerai extrait est à basse teneur et en grandes masses, plus il est logique d'en organiser le traitement sur place. La solution est toute indiquée quand on peut employer la cémentation. D'autre part, bien que l'électrométallurgie ait peu réussi jusqu'ici, il peut arriver un jour où les mines situées dans un pays montagneux et disposant de houille blanche seront amenées à faire elles-mêmes leur métallurgie.

Les minerais et mattes de cuivre ont leurs marchés principaux en Europe, d'abord à Swansea, puis à Londres, à Anvers, Dunkerque, etc.

Les ventes de minerais de cuivre se font en partant de la valeur du cuivre métal. On peut : soit retrancher une somme fixe par tonne de cuivre pour les frais de traitement, comme cela se fait d'ordinaire en Angleterre ; soit retrancher par unité de cuivre une somme variable avec la teneur, suivant l'habitude française.

D'autre part, on compte, pour les pyrites, un bonus de 0,30 fr. par unité de soufre et l'on peut également faire intervenir les métaux précieux quant la teneur en argent dépasse 150 gr., ou la teneur en or, 3 gr. Mais il y a, par contre, à se préoccuper des éléments nuisibles, dont les deux principaux sont l'arsenic et l'antimoine.

A Swansea, où se trouve le grand marché européen, l'habitude est de compter, soit par tonne de 1 016 kg. (20 quintaux), soit par tonne de 21 quintaux (1 065 kg.). L'analyse se fait par voie sèche suivant la méthode

[1] A Rio-Tinto, le principe a été longtemps d'exporter les minerais tenant de 3,75 à 4 p. 100 de cuivre en réservant ceux à teneur moindre pour le traitement sur place par cémentation, ceux à teneur plus forte pour un premier traitement sur place par fusion. La moyenne des minerais exportés depuis 1876 tenait, comme on l'a vu page 627, 3,60 p. 100 de cuivre. De 1901 à 1910, la teneur des minerais exportés a baissé progressivement de 2,68 p. 100 à 1,84 p. 100.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de Cornwall ; d'où, pour un minerai à 12 p. 100, 1,30 unité de différence avec la teneur réelle. Le vendeur bonifie, en outre, à l'acheteur diverses particularités (draftage, trait de pesée).

Cela posé, on calcule le prix du minerai, au moyen de deux tableaux : l'un donnant la valeur de l'unité du cuivre d'après le cours en livres sterlings de la qualité dite best selected, l'autre indiquant les frais de traitement à retrancher par unité de cuivre pour une teneur donnée.

Des achats du même genre, opérés en France sur des minerais d'Australie, prennent pour base la teneur en cuivre à l'électrolyse diminuée de 1.3 unités. On se fonde alors sur le cours du best selected en retranchant, par tonne anglaise de 1 016 kg. : pour 30 p. 100 de cuivre, 2 s. 7 d. par unité ; de 25 à 30 p. 100, 2 s. 9 d. ; de 20 à 25 p. 100, 2 s. 11 d.

En France et en Belgique, les usages sont différents et l'on doit distinguer suivant qu'il s'agit de pyrites, minerais ou mattes.

Dans les *pyrites* on retranche de la teneur électrolytique 0,90 unités. Puis on paye le cuivre aux 100 kg. à un prix ferme qui tient compte des frais de traitement. Ce prix sera, par exemple, de 90 fr. les 100 kg. pour la base du best selected à 50 £. Si le cours de celui-ci est de 65 £, on multiplie par $\frac{65}{50}$. Le soufre se paye, en outre, 0,30 fr. l'unité.

Dans les *minerais*, on retranche 0,50 unités de la teneur électrolytique. Puis on paye, pour la même base de 50 £, le best selected, un prix variable suivant la teneur : pour 6 à 10 p. 100 de cuivre, 75 fr. les 100 kg. ; pour 10 à 12 p. 100, 85 fr. ; pour 12 à 18 p. 100, 90 fr. ; pour 18 à 19, 94 fr. ; pour 19 à 25, 95 fr. ; au-dessus de 25, 100 fr.

Enfin, dans les *mattes*, on retranche 0,90 p. 100, et, suivant la teneur, on déduit une somme variable sur le cours du best selected : pour 25 à 30 p. 100, 2 s. 10 d. ; pour 30 à 35, 2 s. 4 d. ; pour 35 à 40, 2 s. 1 1/2 d. ; pour 40 à 45, 1 s. 10 d. ; pour 45 à 55, 1 s. 9 d. ; pour 55 à 65, 1 s. 8 d. ; au dessus de 65, 1 s. 7 1/2 d.

d) COMMERCE DU CUIVRE

Le commerce du cuivre distingue un certain nombre de qualités : le *cuivre standard* ou G. M. B. (Good merchantable brand), qui sert d'étalon ; le *best selected* ; le *cuivre électrolytique*, et diverses marques recherchées, comme le cuivre du Lac Supérieur (*Lake copper*) et le cuivre de *Corocoro*.

Le cuivre qui arrive en France est vendu sous la forme de cathodes, ou de barres : les cathodes payées un peu moins cher pour tenir compte des facilités plus grandes que, par leur forme, elles offrent aux vols pendant la traversée.

L'une des principales différences entre les qualités de ces métaux tient à la haute conductibilité de certains cuivres, comme les cuivres électrolytiques ou quelques cuivres du Lac Supérieur, qui sont mieux appropriés pour les emplois électriques.

Cependant certaines traces d'impuretés peuvent avoir des avantages pour d'autres usages ; ainsi un peu d'arsenic prête à quelques cuivres supérieurs du Lac Supérieur des qualités mécaniques spéciales.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Dans la consommation française, il peut entrer 10 000 t. de cuivre du Lac, un peu d'électrolytique japonais et quelques minerais ou mattes. La presque totalité est de l'électrolytique Nord-Américain. Le commerce de ce dernier est entièrement monopolisé par quelques groupes : l'Amalgamated qui contrôle 150 000 t. ; American smelting and refining Cy (120 000 t.); Phelbs-dodge (100 000 t.); Vogelstein (100 000 t.); Calumet and Hecla, contrôlant les produits du Lac Supérieur (80 000 t.).

Le marché du cuivre est un de ceux sur lesquels la spéculation se donne le plus librement carrière, étant donnés les grandes applications rapidement croissantes du métal, son prix élevé et la centralisation relative de son extraction.

A diverses reprises, on a essayé une entente générale des producteurs et un commencement de réalisation de cette entente, favorisé par le développement industriel, a permis, par moments, une hausse considérable, qui a été généralement suivie d'une chute brusque.

L'histoire du commerce du cuivre pendant le XIX^e^ siècle a été la suivante :

Vers 1800, le cuivre valait 3 900 fr. la tonne, alors que la production mondiale était à peine de 20 000 t. Il est redescendu à 3 100 vers 1810 ; à 2 450 en 1820 ; à 2 100 en 1 840 et remonté à 3 700 fr. vers 1860.

Vers 1870, la consommation de ce métal n'était encore que d'environ 100 000 t. ; le Chili était alors le principal centre de production avec l'Allemagne, Rio-Tinto, etc. ; le prix du cuivre oscillait entre 1 600 et 2 500 fr.

Depuis 1873, le développement énorme de l'industrie cuprifère dans la province d'Huelva et au Lac Supérieur, a amené une dépréciation progressive, qui a fait descendre le cuivre à 1 310 fr. en 1880, 955 en 1886.

Cette baisse de 1886, ayant amené l'arrêt ou le ralentissement de certaines extractions, permit en 1887 la spéculation, dite des métaux, qui, en décembre 1887, amena le cuivre à 2 140 fr., exactement le double de ce qu'il valait un an auparavant. Pendant 1888, les cours se maintinrent élevés ; mais, en 1889, ils s'effondrèrent et en 1889-1890, on resta aux environs de 1 350 fr. A cette époque, les Etats-Unis intervenaient à peine pour un sixième de la production mondiale, dont ils fournissent aujourd'hui les cinq huitièmes et les mouvements spéculatifs partaient encore d'Europe (d'Angleterre ou de France). Cet état de choses est retourné et le marché du cuivre est aujourd'hui nettement dépendant des États-Unis.

En 1894, il se produisit une nouvelle chute, qui amena un moment le cuivre à 950. Après quoi, nous le retrouvons à 1 880 en 1900 ; en 1902, il tombe de nouveau à 1 140 ; il remonte à 2 700 en 1907, puis redescend à 1 350 ; en décembre 1910, il vaut 1 430 ; en décembre 1911, 1 570 ; en janvier 1912, 1 640.

On voit ainsi que les chutes plus ou moins violentes de 1886, 1889, 1894, 1902, 1908, ont, à l'exception de la dernière moins accentuée, amené des dénivellations de près de moitié sur les cours les plus élevés, sans que la courbe moyenne des prix, dégagée de ces inflexions momentanées, accuse une tendance bien nette vers la hausse.

L'écart entre le prix du cuivre et celui des produits fabriqués se calcule de la manière suivante (mars 1912) pour une cote de 169 fr. les 100 kg. avec 4 1/2 p. 100 d'escompte :

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

	Cuivre rouge.		Laiton.
Planches. .	217,50 fr.	(4 1/2 p. 100 d'esc.)	197,50 (2 p. 100 d'escompte)
Fils	217,50	(2 p. 100 d'escompte)	197,50 (2 p. 100 d'escompte)
Tubes . . .	247,50	(3 p. 100 d'escompte)	217,50 (3 p. 100 d'escompte)

L'écart entre le prix des produits en cuivre rouge et en laiton tient surtout à ce qu'il existe, pour le cuivre rouge, une entente qui fonctionne mal pour le laiton.

Actuellement, avec le développement général des industries électriques et avec le projet, partout étudié, d'électrifier les chemins de fer pour augmenter leur vitesse, la question du cuivre est une des plus directement liées à la prospérité générale des affaires.

Il est incontestable que la consommation du cuivre va s'accroître rapidement.

En dehors des vieux pays, on doit s'attendre à l'entrée en jeu des continents nouveaux, comme l'Asie, l'Afrique et l'Australie, où si l'on en croit les statistiques, la consommation de cuivre aurait déjà passé de 8 500 t. en 1901 à 73 000 en 1905, pour redescendre, il est vrai, à 19 800 t. en 1910. Mais la production s'accroîtra-t-elle plus ou moins vite que la consommation, c'est ce qu'il est difficile de prévoir; car, dans ces mêmes continents nouveaux, d'immenses dépôts cuprifères vont être prochainement utilisés, le Katanga par exemple. Et, dans les districts anciens déjà outillés des Etats-Unis, un faible accroissement des prix de vente peut aussitôt déterminer une notable surproduction pour toute une catégorie de minerais ou de mines qui touchent à l'équilibre du prix de revient et du prix de vente [1].

Ce marché est, d'ailleurs, très loin d'être livré à lui-même. De grands syndicats se sont formés, dont le principal, dit Amalgamated, domine la production de l'Ouest-Américain et surtout celle du Montana. Le groupe du Lac Supérieur, moins solidarisé, est néanmoins représenté par la mine principale, la Calumet and Hecla, en attendant une fusion fréquemment annoncée de toutes ces mines et le principal producteur européen, le Rio Tinto, forme un troisième groupe, qui généralement reste en dehors des combinaisons américaines.

e) GÉOLOGIE GÉNÉRALE DU CUIVRE

Le cuivre présente un caractère intéressant que nous retrouverons pour l'argent. Ses minerais riches, ses minerais proprement dits, que nous allons énumérer, jouent, sauf dans quelques mines très spéciales, un rôle restreint et ce n'est guère que dans la zone de cémentation produite par les réactions de surface qu'on les trouve, en général, momentanément développés. Quand on descend plus bas, on arrive d'ordinaire à la phase durable, où les minerais exploités dissimulent leur cuivre, comme nous verrons qu'ils dissimulent leur argent, dans les minerais d'un métal inférieur : ici presque toujours dans la pyrite, comme, pour l'argent, dans

[1] Les prix de revient américains sont généralement estimés en cents par livre (c par lb) qu'il faut multiplier par 1,142 pour avoir une évaluation en francs par kilogramme. Nous en avons donné plus haut divers exemples, où le prix de revient de plus de 10 cents (1 fr. 14 par kg) nécessite l'arrêt dès que le cours passe au-dessous de 1140 fr. la tonne.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

la galène, la blende, ou la pyrite de fer déjà cuivreuse. Il semble qu'en profondeur, dans la plupart des gisements originels, les sels de cuivre existent surtout à l'état d'éléments presque microscopiques englobés dans cette pyrite, qui est à peu près seule visible.

f) MINERAIS DE CUIVRE

Minéralogiquement les principaux minerais de cuivre sont des minerais sulfurés, considérés : comme purs, lorsqu'ils ne renferment que du cuivre ou du fer ; comme impurs quand, à ces métaux, s'ajoutent l'arsenic, l'antimoine, le plomb à forte dose, le zinc au delà d'une certaine limite.

Les minerais sulfurés purs sont : la *chalcopyrite* ($CuFeS^2$), à 34,5 p. 100 de cuivre) ; l'*érubescite* (*phillipsite*, *bornite* ou *cuivre panaché*) ($3Cu^2S, Fe^2S^3$; 43 à 63 p. 100 de cuivre) ; la *chalcosine* ou *kupferglanz* (Cu^2S ; 79,8 p. 100 de cuivre) ; la *covelline*[1] (CuS ; 66,4 p. 100 de cuivre).

Les arséniures sont la *domeykite* (Cu^6As^2), l'*algodonite* ($Cu^{12}As^2$), la *whitneyite* ($Cu^{18}As^2$).

Les minerais impurs sont surtout : les *cuivres gris* (*fahlerz*), tenant de 15 à 48 p. 100 de cuivre, avec arsenic, antimoine, fer et souvent assez forte proportion d'argent. La plupart sont antimonieux, tels que la *panabase* ou *tétraédrite*, la *freibergite*, la *schwatzite*. D'autres sont arsénicaux comme la *tennantite*, *l'enargite* ($Cu^3As.S^4$), etc. On peut en rapprocher la *bournonite* ($3\,Cu^2S, Sb^2S^3 + 2PbS\,Sb^2S$; 13 p. 100 de cuivre).

On trouve, en outre, du *cuivre natif* (Lac Supérieur, Corocoro), dans des conditions qui impliquent souvent une transformation superficielle.

Enfin les minerais oxydés, toujours dus à une altération secondaire qui cesse en profondeur, peuvent tenir une place prépondérante dans la première période d'exploitation des districts nouveaux. Ce sont : la *cuprite* (Cu^2O ; 88,7 de cuivre) ; la *malachite* ($H^2Cu^2CO^5$, 57,4) ; l'*azurite* ou *chessylite* ($H^2\,Cu^3\,C^2O^8$) ; l'*aurichalcite* (hydrocarbonate de cuivre et de zinc ; la *cyanose* ($H^{10}\,Cu\,SO^9$) la *brochantite* ($H^6\,Cu^4\,SO^{10}$) ; la *libéthénite* et la *lunnite* (phosphates) ; l'*olivénite*, l'*euchroïte*, la *chalcophyllite* (arséniates), la *volborthite* (vanadate cupro-calcique), le *dioptase* et le *chrysocolle* (silicates), l'*atacamite* (oxychlorure).

Pratiquement, tous ces minerais à haute teneur en cuivre jouent, comme nous l'avons dit en commençant, un rôle de plus en plus secondaire dans la production industrielle, qui est presque totalement alimentée aujourd'hui par des pyrites de fer cuivreuses tenant de 1 à 3 p. 100 de cuivre.

g) ROLE MÉTALLOGÉNIQUE DU CUIVRE — CLASSIFICATION DES GISEMENTS.

Le cuivre, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, forme la transition entre le groupe de l'étain et celui du zinc et du plomb, associé tantôt à l'un, tantôt à l'autre. Les plus importants de ses gisements le montrent à l'état de pyrite de fer cuivreuse en grands amas lenticulaires, ou associé avec une gangue quartzeuse en filons de pyrite et chalcopyrite.

[1] On passe facilement de la chalcopyrite à la chalcosine en perdant Fe^2S^3. Quelquefois la transformation produit de la covelline d'un bleu foncé.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Nous verrons, d'autre part, les altérations superficielles et remises en mouvement prendre une très grande part dans la constitution de gisements industriels cuivreux à minerais riches, qui ont été longtemps prédominants, qui le sont encore dans certains pays neufs, mais qui sont appelés à disparaître avec les progrès généraux de la colonisation. Il est possible qu'exceptionnellement quelques gisements considérables, où le cuivre persiste profondément à l'état natif, aient une origine semblable.

Les gisements de cuivre présentent ce caractère, que nous avons déjà rencontré à un degré encore supérieur pour l'étain, d'être très généralement en association intime avec des roches ignées dont ils proviennent et nous attacherons une grande importance à mettre ce caractère en évidence, puisque la démonstration constante d'un tel fait est le fondement même de toute notre théorie métallogénique. Plus tard, quand nous aborderons le plomb, le zinc ou le mercure, ce caractère s'atténuera progressivement, et souvent nous ne pourrons plus l'admettre que par une assimilation hypothétique.

En ce qui concerne ces associations pétrographiques, on remarquera aussitôt que le cuivre se trouve aussi bien avec des roches basiques (gabbros, norites), qu'avec des roches neutres (syénites, diorites, monzonites), ou avec des roches acides (granulites, pegmatites, etc.) : les caractères, aussi bien que les associations minérales, différant suivant les cas. On a ainsi le type Sudbury avec nickel ou le type Monte Catini pour les roches basiques ; le type Banat, avec plomb et zinc, pour les roches neutres; le type Cornwall, avec étain, pour les roches acides.

Cette association avec certains magmas pétrographiques est un des éléments qui doivent intervenir dans une classification. Il faut, d'autre part, considérer les associations d'autres métaux et la forme des gisements. Les associations métallifères dépendent un peu du milieu originel et peuvent assez facilement se combiner avec la division par types pétrographiques connexes. Les formes de gisement résultent, tant de la nature du terrain encaissant que de la profondeur originelle, qui provoque tel ou tel type de fissures et de dislocations ; et, par cette dernière considération, nous sommes encore ramenés au type pétrographique, qui lui-même est moyennement fonction de la profondeur. Les filons nets ne sont encaissés que dans des roches résistantes et homogènes par elles-mêmes ou par métamorphisme. Les schistes donnent lieu à des imprégnations et à des interstratifications, particulièrement accusées dans les diffusions de profondeur, mais également manifestées dans des cas où le dépôt a dû être plus superficiel. Enfin les grès et les calcaires ont chacun leur type de gisements, accentué par l'importance des phénomènes d'altération, qui sont si importants, sous des formes un peu différentes, dans ces deux sortes de terrains. Avec ces données, nous allons pouvoir établir une classification méthodique des gisements cuivreux.

Si nous partons, comme d'habitude (1), des inclusions dans les roches éruptives, celles-ci ne prennent guère nulle part d'importance pratique. On doit cependant, à titre théorique, noter les minéraux cuprifères qui ont été constatés dans un grand nombre de roches appartenant à des groupes pétrographiques très divers : granites à tourmaline, syénites, monzonites, mélaphyres, diabases, gabbros, etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

On est ainsi amené (II) à des cas de ségrégations magmatiques en milieu basique, qui peuvent eux-mêmes se subdiviser en deux groupes parfaitement distincts ; *a*) association du cuivre et du nickel dans des norites (type Sudbury); *b*) ségrégations simplement cuprifères des diabases à olivine, péridotites, gabbros, etc. (type Monte Catini).

III. Les gisements de ségrégation précédents paraissent être l'origine première d'un groupe métallogénique important, où le départ plus accentué, qui semble s'être effectué en profondeur à partir de roches grenues, microgrenues, ou rarement microlithiques, a pris la forme de grands amas pyriteux, fahlbandes, filons-couches et diffusions, dans lesquels la pyrite cuivreuse ne dépasse guère une teneur de 2 à 3 p. 100 de cuivre (types Scandinavie, Huelva, etc.).

D'autre part, nous avons à considérer tout un système important de gisements (IV et V), dont la forme de cristallisation est plus franchement filonienne, mais dont la relation avec des roches éruptives non basiques reste généralement très manifeste. Nous établirons, dans ce groupe, une démarcation importante (V) pour ceux d'entre eux qui, encaissés dans des terrains calcaires, se sont, en conséquence, développés au milieu d'une gangue silicatée due au métamorphisme (types Banat, Traverselle, Oural, Arizona) et nous rapprocherons dans un autre paragraphe (IV) tous les autres, où cette influence calcaire ne s'est pas fait sentir (types Algérie, Caucase, Yunnan, Japon, Montana).

Nous arrivons, dès lors, aux filons de cuivre proprement dits. A l'occasion de leur étude, nous nous attacherons à mettre en évidence un certain nombre d'associations métallogéniques qui caractérisent des groupes de gisements. C'est ainsi que nous reprendrons, d'abord (VI), les départs acides du cuivre, où ce métal peut se trouver associé avec l'étain et avec des métaux ou minéraux du même groupe : avec le molybdène, le bismuth, le cobalt, la tourmaline. Puis nous passerons au groupe des filons cuprifères à gangue quartzeuse, dans lesquels tend, au contraire, à se développer l'association du plomb (VII) et enfin (VIII) aux filons de chalcopyrite et cuivre gris à gangue de sidérose, dans lesquels, outre l'association de l'antimoine, apparaît souvent celle, connexe, du mercure. Une catégorie à part (IX) sera réservée pour les gisements de cuivre natif du Lac Supérieur et de Corocoro.

Dans le paragraphe suivant (X), nous étudierons l'influence d'un terrain encaissant gréseux, schisteux ou calcaire sur des gîtes cuprifères. Ce sera, pour nous, le moyen d'examiner, sans idée préconçue sur leur mode de formation et de comparer un certain nombre de gisements, dont les uns sont pour nous d'origine sédimentaire (types Mansfeld, Perm, etc.) et dont les autres, surtout ceux encaissés dans les calcaires, mais quelquefois aussi ceux englobés dans les grès, nous paraissent en principe épigénétiques.

Enfin un dernier paragraphe (XI) sera consacré aux actions d'altération superficielle, sous les deux formes de la peroxydation au jour et de la cémentation plus profonde. Ce phénomène, qui joue un rôle si considérable dans la pratique industrielle des gisements de cuivre, demande à être envisagé séparément, afin de pouvoir rappeler, à ce moment la forme sous laquelle se présentent, en réalité, dans les travaux, quelques

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

grands gisements, rattachés par notre théorie à des types précédents.

Notre classification sera donc, en résumé, la suivante :

I. Inclusions, amygdales cuprifères et processus de départ.

II. Gîtes de ségrégation des roches basiques : *a*) association du nickel (type Sudbury); *b*) ségrégations seulement cuprifères (type Monte Catini).

III. Amas, fahlbandes, filons-couches et imprégnations diffuses de profondeur dans les schistes (types Scandinavie, Huelva, etc.).

IV. Gîtes filoniens associés à des roches éruptives neutres ou acides (Serbie, Bulgarie, Algérie, Caucase, Yunnan, Japon, Montana).

V. Gîtes de contact avec les mêmes roches en terrain calcaire (types Banat, Traverselle, Oural, Utah, Arizona, Mexique).

VI. Filons de chalcopyrite quartzeuse proprement dits. Association possible du cuivre avec l'étain, le molybdène, le bismuth, le cobalt, la tourmaline (Scandinavie, Transvaal, Katanga, Chili, Bolivie, etc.).

VII. Filons de chalcopyrite quartzeuse passant au type des minerais complexes B.G.P.C. (Saxe, Algérie, Steppe Kirghise, Burra-Burra).

VIII. Filons de chalcopyrite, enargite et cuivre gris à gangue de sidérose. Association du cuivre avec l'antimoine et le mercure, ou l'arsenic (Sierra Nevada, Alpes, Tyrol, Hongrie, Bosnie, Serbie, Algérie, Transvaal).

IX. Gisements de cuivre natif du Lac Supérieur et de Corocoro.

X. Grès, schistes et calcaires cuprifères. — *a*) Grès et schistes de Minorque, Hesse, Mansfeld, Silésie, Perm, New Jersey, New Mexico, Arizona, Aïn Sefra, Boleo ; — *b*) calcaires du Niari, de Malmani, etc.

XI. Altération des minerais cuprifères ; zones d'oxydation et de cémentation. Types de gisements altérés.

Cette classification met en évidence, suivant la méthode générale que nous avons adoptée, la façon dont le cuivre, originellement inclus dans les magmas en ignition, s'en est progressivement écarté en prenant des types divers et en se groupant avec des métaux variables, suivant sa distance du milieu originel, sa profondeur de cristallisation, etc.[1] Les trois associations principales, avec l'étain, le plomb et le mercure, signalées dans la classification précédente, accusent ce caractère intermédiaire du cuivre, sur lequel nous avons insisté dès le début et témoignent chez lui de ce qu'on pourrait appeler un éclectisme remarquable.

D'autres associations, que nous ne nous sommes pas encore trouvé indiquer, sont également intéressantes pour la théorie et pour la pratique : ce sont celles avec les métaux précieux, dont la proportion, toujours notablement accrue dans la zone de cémentation, contribue à favoriser les débuts des mines cuprifères. Il est intéressant de noter aussitôt que les gisements de pyrite cuivreuse exploités dans toutes les parties du monde présentent, lorsqu'on est sorti de ces zones à concentrations superficielles, qui se prolongent plus ou moins loin en profondeur, des proportions de

[1] Le cuivre a été constaté dans quelques eaux minérales (Teplitz, Mondorf, etc.), ainsi que dans les dépôts cuivreux d'un grand nombre de sources ; Dieulafait l'a retrouvé dans les eaux-mères des marais salants, dans toute la formation primordiale, dans les dolomies et marnes noires qui accompagnent le gypse. Dans les eaux-mères des marais salants, on peut constater sa présence sur 5 centimètres cubes. Il y a cependant lieu de tenir en suspicion certaines de ces expériences, où les instruments de cuivre n'ont pas toujours été rigoureusement exclus.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

cuivre, argent et or comprises entre les limites relativement restreintes. Les chiffres du tableau 45 représentent des résultats industriels pour toute une année et non des analyses chimiques de minerais triés.

La limite inférieure de la teneur en cuivre est évidemment, dans une certaine mesure, fonction du cours du cuivre et du prix de revient ; il peut en résulter parfois un effet sur la limite supérieure puisqu'en associant dans l'extraction des minerais pauvres aux minerais riches, on abaisse

TABLEAU 45. — TENEURS EN CUIVRE, ARGENT ET OR DANS DIVERSES MINES

MINES DE CUIVRE	TENEUR en cuivre du minerai. p. 100	Pour 100 000 de cuivre.	
		Argent.	Or.
Anaconda (Montana)	2,83	215	1,0
Ani (Japon)	3	100	1
Aranzazu (Mexique)	5	480	»
Arizona (Clifton)	2,3	»	»
Boston Cons. (Utah)	3,30	120	17
Boundary Creek (Colombie Britannique)	1,5	153	10
Cumberland Ely (Nevada)	3,1	»	»
Falun (Suède)	3	90	10
Foldal (Norvège)	2	»	»
Granby (Canada)	1,2	14,2	2
Great Cobar (New South Wales)	2	»	»
Gross Fragant (Carinthie)	4	200	20
Mansfeld	2,86	560	»
Mt Lyell (Tasmanie)	2,35	83	3
Mount Morgan (Queensland)	3,3	?	40
Osceola (Lac Supérieur)	1,87	»	»
Osarizawa (Japon)	2,5	60	1
Rio Tinto	2,26	»	»
Rustvangen (Norvège)	3,5	»	»
Soimonovsk (Oural)	4	70	5
Tilt Cove (Terre-Neuve)	3,4	»	»
United Verde (Arizona)	2,5	93	3,8

la teneur. Cependant cette observation ne s'applique pas à d'immenses amas exploités totalement comme Rio Tinto, etc.

I. — INCLUSIONS CUPRIFÈRES ET PROCESSUS DE DÉPART

Généralités. — Des roches parfaitement fraîches et intactes renferment souvent des cristaux de pyrite, ou, moins fréquemment, de la pyrite de cuivre, qui semblent avoir cristallisé dans les conditions des autres minéraux constituants. Ces éléments sulfurés sont donc restés là dans le bain silicaté, dont ailleurs ils ont eu une tendance à se dégager par pneumatolyse ou par sécrétion latérale[1]. Quand on examine la liste des roches

[1] O. STUTZER (*Versuche über das Eindringen schmelzflussiger Metallsulfide in Silikat Gesteine*; Z. f. pr. G., 1908, p. 119) a essayé d'introduire des fragments de roches sili-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans lesquelles le phénomène a été constaté, on est frappé d'y voir un certain nombre de granites à tourmaline (Predazzo, Kittlisvand en Norvège) : c'est-à-dire des roches, où s'accuse d'autre part le rôle actif des fumerolles et dans lesquelles il arrive de rencontrer des fissures de retrait renfermant de la chalcopyrite. La présence du cuivre, que nous constatons ainsi en milieu acide, nous conduira bientôt à un groupe de gisements filoniens, où ce métal s'est concentré au voisinage de semblables roches, en association avec l'étain (type VI).

La présence du sulfure de cuivre se retrouve en s'accentuant dans un certain nombre de roches neutres ou basiques offrant les structures les plus diverses, depuis le type granitique de profondeur jusqu'au type microlithique des épanchements basiques.

Parmi les roches neutres à tendance encore acide, il y a lieu de citer diverses monzonites passant à des syénites, comme celles de l'Arizona. Ce sont des roches assez voisines de celles-là qui ont donné lieu à beaucoup de gisements de contact à gangue silicatée que nous étudierons dans le Banat, l'Oural, à Traverselle, etc. : gisements caractérisés d'ordinaire par l'association de la magnétite avec les sulfures de fer et de cuivre (type V). Dans un groupe généralement plus basique, nous avons de nombreuses porphyrites ou andésites et même des laves modernes qui contiennent parfois du cuivre.

Enfin les roches franchement basiques sont encore fréquemment cuprifères : les roches profondes comme les gabbros et norites (types du Canada et de Scandinavie) ; les diabases microgrenues ; ou même les roches d'épanchement microlithiques comme les mélaphyres (Lac Supérieur, Transbaïkalie, Madagascar).

Dans ces diverses formes de départ plus ou moins accentuées, il est, nous l'avons déjà remarqué[1], difficile de préciser le mécanisme des réactions qui ont pu intervenir, avant les effets superficiels de sécrétion latérale dont les roches amygdaloïdes portent si souvent l'empreinte ; et même pour la cristallisation primitive, on ne sait souvent pas exactement pas quelle part il faut attribuer aux simples liquations ignées magmatiques qui, pour certains géologues, ont joué un rôle exclusif, ou quel rôle revient déjà aux pneumatolyses.

Du type purement igné au type nettement hydrothermal, il y a toutes les transitions ; mais il est bien rare, dans le gisement de ségrégation le plus typique, de ne pas voir s'accuser, par quelques apophyses filoniennes, par quelques cristallisations périphériques, etc., l'effet des agents volatils. A notre avis, ces agents volatils, la vapeur d'eau, les chlorures et les carbonates alcalins, n'ont jamais dû faire entièrement défaut et, même dans le cas des laccolithes granitiques, ou des amas pyriteux massifs qui, pour nous, sont à en rapprocher[2], nous estimons qu'ils ont dû intervenir.

cates dans des bains de sulfures métalliques fondus. Il a reconnu la pénétration des sulfures fondus dans les fissures des silicates sous une forme compacte sans géodes.

[1] Tome 1, p. 78.

[2] Voir tome 1, page 102.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

1° INCLUSIONS CUPRIFÈRES DANS LES ROCHES ACIDES
(pegmatites et microgranulites)

Quelques gisements, qui pourraient à la rigueur être rattachés à ce groupe, seront étudiés quand nous traiterons de l'association avec la famille de l'étain : par exemple, les granulites du Telemark avec fentes en échelons renfermant l'association de la chalcopyrite, de la molybdénite, et du bismuth sulfuré[1]. Citons-en quelques autres, où l'inclusion est mieux caractérisée.

Ainsi à *Mezzavale*, près Predazzo en Tyrol, la chalcopyrite, avec tourmaline et fluorine, se trouve dans les nids pegmatoïdes d'un granite à tourmaline.

On connaît encore en Colombie britannique, à Copper Mountain près Princeton, dans le district de *Similkameen*, une pegmatite à érubescite[2].

Dans le district d'*Evergreen* (*Cté de Gilpin, Colorado* [3]), c'est un microgranite qui offre le même phénomène.

Là, sur le flanc Est du Front Range, à 3060 m. d'altitude, les schistes cristallins sont traversés par une roche à structure microgrenue, faite de quartz, orthoclase, albite, ægyrine, enstatite et diallage, qui contient, comme éléments de première constitution, de l'érubescite et de la chalcopyrite, soit en inclusions dans les quartz et les feldspaths, soit englobant du pyroxène.

Dans le district de *Zwickau* en Saxe, divers fonçages de houille ont recoupé une couche de microgranulite cuprifère intercalée dans le permien (Rohtliegende) au-dessus du mélaphyre[4]. L'horizon paraît présenter une certaine étendue; mais il serait possible que le cuivre provînt des roches ou terrains voisins. On le trouve en feuillets, ou quelquefois en grains, parfois avec un peu d'arséniure de cuivre (domeykite).

A *Kousou Adir*, dans la steppe Kirghise, à 180 km. S.-W. de Karkaralinsk, on connaît des veines quartzeuses métallisées (d'origine peut-être filonienne), avec fines ramifications latérales dans les fissures d'un porphyre quartzifère. Les minerais renferment une association de pyrite, chalcopyrite, galène et blende[5].

Enfin des types effusifs de roches acides sont également parfois cuprifères dans l'Ouest Américain, au Japon, etc. Citons seulement le cas des filons du *Montana*, très probablement dérivés des rhyolithes.

Mais ce sont surtout, nous allons le voir, les roches neutres ou basiques, gabbros, norites, diabases, mélaphyres, etc., qui accusent de fréquentes inclusions cuprifères. Pour les gabbros et norites, nous renvoyons à ce qui sera dit à propos des gîtes norvégiens[6] et nous nous bornerons ici à grouper quelques gisements englobés dans les diabases, porphyrites et mélaphyres.

[1] T. 2, page 711.

[2] KEMP. Trans. 31 p. 182. — 1905. CATHERINET. *Copper Mountain* (Eng. a. min. J., t. 79, p. 425).

[3] 1908. E.-A. RITTER. *The Evergreen Copper Dep.* (Tr. Am. I. M. I., n° 19, p. 33-47).

[4] 1873. WEISBACH. *Arsenkupfer von Zwickau* (N. J. f. Min., p. 64).

[5] L. DE LAUNAY. *Asie*, p. 515.

[6] Voir plus loin, t. 2, p. 656.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

2° DIABASES, PORPHYRITES, ET MÉLAPHYRES CUPRIFÈRES

Il arrive assez fréquemment que du cuivre soit englobé dans des diabases sous forme d'inclusions dans les cristaux d'aügite, avec tendance à la concentration secondaire lors des altérations superficielles. C'est à des sécrétions latérales de ce genre qu'il faut, sans doute, attribuer, dans d'autres roches, mélaphyres, porphyrites, etc., les amygdales et veinules cuprifères dont il sera question plus loin.

Dans le *Nassau*, des veines de chalcopyrite se trouvent dans des diabases et des schalsteins (tufs de diabases), dont les cristaux d'augite contiennent eux-mêmes du cuivre[1]. On a remarqué que la chalcopyrite est plus abondante dans ces veines lorsque la roche est altérée et que les filons s'appauvrissent rapidement en pénétrant, au contact des diabases, dans les schistes à cypridines et les grès. Certaines mines du Nassau (Fortunatus, Gnade Gottes et Goldgrube) contiennent, à côté de la chalcopyrite, de la galène et de la blende.

Ailleurs, à *San Domingos*, en Portugal, j'ai moi-même autrefois signalé des feuilles de cuivre natif dans une diabase ophitique située au contact de l'amas pyriteux. Là, ce cuivre est très certainement secondaire ; mais, comme la pyrite elle-même peut provenir de la diabase, le cas n'est pas aussi différent de celui du Nassau qu'on le croirait d'abord[2].

Souvent aussi des roches microlithiques du type des porphyrites ou mélaphyres renferment des minerais de cuivre, qui ont cristallisé dans leurs amygdales, géodes ou fissures. Si le fait était exceptionnel, on pourrait le croire dû à un accident ultérieur indépendant de la roche qui le renferme. Nous verrons, en effet, que les remplissages cuprifères des amygdales semblent, d'ordinaire, y avoir pénétré par le dehors et postérieurement, à la faveur de solutions aqueuses et non s'y être différenciés par ségrégation magmatique directe. Le rôle du remaniement et de la remise en mouvement n'est pas douteux. Néanmoins la répétition du phénomène prouve qu'il y a là une relation de cause à effet et que le cuivre, concentré ainsi dans ces roches, a commencé par en dériver sous une forme ou à un moment quelconque. On a souvent constaté, par exemple au *Lac Supérieur*, et à *New-Jersey*[3], que les mélaphyres eux-mêmes renfermaient une faible teneur en cuivre disséminée : résidu, soit d'un départ initial, soit d'une sécrétion latérale postérieure, qui auraient concentré ce cuivre sur des points d'élection. C'est pourquoi nous signalerons ici ces gisements, qui auraient pu également être décrits avec les gîtes d'altération : à l'exception cependant du principal, celui du Lac Supérieur, qui fait partie d'un ensemble trop important pour être divisé.

Ces minerais affectent deux types distincts, fréquemment reliés l'un à l'autre dans la pratique : les gîtes amygdaloïdes, qui sont le cas le plus fréquent et le plus typique ; puis, accessoirement, quelques fissures métallisées, dont le mode de formation demeure toujours plus douteux, passant elles-mêmes à des imprégnations de grès et conglomérats, comme au Lac

[1] 1877. SANDBERGER (Berg u. H. Zeit., p. 390).
[2] Voir plus loin tome 2, page 676.
[3] Tome 2, p. 644.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Supérieur, à Corocoro ou à Perm, de tufs éruptifs comme au Boleo. Dans le premier cas, la cristallisation contient, en principe, du cuivre natif avec des zéolites, de la calcite, de la calcédoine. Il s'y ajoute cependant parfois des sulfures de cuivre et, surtout dans ce dernier cas, quelquefois aussi des minéraux d'altération carbonatés.

Le cas où ce phénomène des mélaphyres amygdaloïdes cuprifères a pris la plus grande importance industrielle est celui du Lac Supérieur, qui sera étudié plus loin. Mais on en a signalé l'équivalent en petit sur des points assez nombreux, que nous énumérerons simplement dans un ordre géographique.

En Europe, on en observe un bon cas près de *Bourgas* sur la mer Noire, à Kainarja, où des andésites amphiboliques renferment des boules de quartz et cuivre natif en rapport avec des gisements filoniens que nous décrirons bientôt [1].

Le même phénomène se retrouve dans le groupe des îles danoises *Færöer* (Féroé).

Dans l'île de Suderoé, la plus méridionale de cet ensemble, il existe, d'après Petiton, une couche de latérite rouge schisteuse intercalée entre deux coulées de basaltes tertiaires, où se trouvent des lamelles de cuivre irrégulièrement disséminées, et inexploitables. A Sumbö (au Sud de cette île) et à Naalsö, on observe, dans une falaise, des couches de mélaphyre amygdaloïde avec zéolites, épidote et mouches ou lamelles de cuivre natif [2].

En Asie, nous avons le gisement de la *Dchida* en Transbaïkalie, où des mélaphyres amygdaloïdes contiennent des veines et amas de cuivre natif avec argent natif, atteignant 1 kg. dans une gangue de zéolites [3].

La *steppe Kirghise* renferme également divers gisements de cuivre associés à des porphyrites.

Dans le *Tien-Chan*, on connaît, sur la rivière Koumyr du Mont Akbourkhan, des veines de pyrite cuivreuse et galène avec quartz dans un mélaphyre recoupant un calcaire paléozoïque.

Au *Tonkin*, au col de Kem, il existe une roche verte à érubescite et cuivre natif, et, dans la même région, divers pointements de roches semblables s'accompagnent de filonnets cuivreux.

De même, au *Yunnan*, nous verrons que les gisements de cuivre, en relation très directe avec des porphyrites ou andésites, forment parfois des veines localisées dans ces roches mêmes (Ouai-tao-chan, Mao-chouitong, etc) [4]. Dans ce dernier cas, on a un mélaphyre avec amygdales de quartz améthyste et de calcédoine, parfois imprégnées de cuivre natif ou de cuivre oxydulé, dans la porphyrite.

Les exemples d'andésites tertiaires avec manifestations semblables sont particulièrement nombreux. On pourrait en citer beaucoup dans l'Ouest Américain, le Mexique, l'Arménie, le Japon, etc.

Dans le *Queensland*, Daintree a signalé des dolérites avec amandes

[1] Tome 2, page 682.

[2] 1907. Cornu. *Kupfer in den Trappbasalten der Färöeinseln* (Z. f. pr. G., p. 321-323).

[3] 1901. R. Beck (Z. f. pr. G., p. 391). — *Asie*, p. 527.

[4] Tome 2, pages 690 à 693. — *Asie*, p. 755.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de cuivre natif, sulfure de cuivre, malachite, calcite et prehnite.

En *Nouvelle Guinée*, le même phénomène se produit sur la côte Nord du Kaiser Wilhelmsland dans un mélaphyre avec zéolites, calcite et chlorite.

En Afrique, nous citerons, d'après Molengraaff, dans le Nord du district de Vrijheid, au *Transvaal*, sur la propriété Goudhœk, des minerais de cuivre dans une diabase ouralitisée formant des bandes étroites au milieu du granite.

A *Madagascar*, des gîtes de cuivre, tout au moins curieux par leur mode de formation, ont été signalés dans les régions de l'*Ambongo* et du *Boeni*, notamment aux environs du village de Tomohevitra, à 800 m. environ à l'Est de la rive droite du Bekiady, près du lac *Kinkony* (S.-W. de Majunga), à *Ankarafantsika*, près Marovay, etc.[1].

Il existe là des roches supra-crétacées ou tertiaires et tufs connexes altérés et zéolitisés, contenant de magnifiques zéolites en grands cristaux (gmélinite, analcime, mésotype, heulandite, etc.), avec des masses d'opale cuprifère et de chrysocolle vert englobant du cuivre natif, de la cuprite, de la malachite, etc. Ces minerais, sans importance industrielle actuelle, sont dispersés en veinules sur une assez vaste région dans des coulées superposées au crétacé moyen[2].

A. Lacroix mentionne également des blocs de cuivre natif, qui lui ont été présentés comme venant d' *Ambohimarina*, au Sud de Diego Suarez.

Dans l'*Amérique du Sud*, on signale encore des diabases amygdaloïdes avec calcite, cuivre natif et cuprite à *Algodones* au Chili[3].

A *Sao Paolo*, au Brésil [4], des amandes semblables ont une croûte de silicate de fer et de calcédoine.

Dans l'*Amérique du Nord*, le gîte de *Somerville*, à New Jersey, a un peu plus d'importance, mais avec une allure localement plus filonienne[5]. On y connaît, depuis longtemps, du cuivre dans une série triasique de schistes et de grès avec intercalations de mélaphyres et de diabases (trapps), ou effusifs ou intrusifs. Ces roches renferment souvent, dans leurs parties superficielles et altérées, des amygdales, avec association de cuivre natif, de zéolites et de calcite, comme au Lac Supérieur. En même temps, l'on retrouve du cuivre dans les schistes encaissants, également altérés, sous forme de minces enduits; mais ici ce cuivre est accompagné de chalcosine et de produits d'altération carbonatés. Des traces de cuivre ont été reconnues par Weed dans des parties tout à fait intactes du mélaphyre. On a, en conséquence, admis une sécrétion latérale qui se serait étendue par altération superficielle aux schistes voisins. Mais il a pu y avoir aussi, dès l'intrusion mélaphyrique, départ sulfuré, ultérieurement transformé par cette altération.

[1] 1903. L. DE LAUNAY. *Afrique*, p. 370. — 1912. PERRIER DE LA BATHIE. *Notes inédites*.

[2] Il paraît que l'on retrouve des calcédoines roulées venant de ces roches dans les grès à dinosauriens emschériens.

[3] 1898. MÖRICKE. *Die Gold, Silber und Kupferlagerstätten in Chile* (Freiburg i. B. p. 33).

[4] 1906. HUSSAK. *Ged. Kupfer in Diabas, Brasilien* (Zentralbl. f. Min., n° 11, p. 333).

[5] 1903. W.-H. WEED. *Copper deposits of New Jersey* (Ann. Rep. of the Stats geologist for 1902. Trenton, p. 125-139).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

II. — DÉPART BASIQUE DU CUIVRE — SÉGRÉGATIONS

1° ASSOCIATION AVEC LE NICKEL (Sudbury, etc.)

Nous renvoyons au chapitre du nickel[1] pour un certain nombre de gisements dans lesquels ce métal domine, associé au cuivre.

Ainsi, à *Sudbury*, nous avons décrit une formation métallifère associée avec une norite qui passe au granite à micropegmatite : formation de pyrrhotine nickélifère et cuprifère, dans laquelle il y a égalité du cuivre et du nickel à Victoria mine ; ailleurs, plus de cuivre ou plus de nickel. La norite, qui affecte l'allure d'une cuvette synclinale, lance des apophyses dans les terrains superposés et c'est sur de telles apophyses que se trouvent quelques-unes des mines les plus profondes, notamment l'ancienne mine de cuivre de Copper Cliff. La production de cuivre a été de 7 561 t. en 1908, 8 640 t. en 1910.

Nous avons rapproché de ce gisement quelques gîtes scandinaves, où se présente la même association cuivre et nickel (à *Klefva en Småland;* en *Haute Italie*), d'autres dans les diabases de la *Lausitz*, dans la *Forêt Noire* (*Horbach*), dans le Nassau (*Dillenburg*) etc.

Nous allons maintenant étudier en Toscane des groupes de gisements, analogues comme allure, mais où le nickel fait défaut.

On pourrait, comme cas intermédiaire, placer ici le gisement d'*Ookiep* dans l'Afrique Australe, où des amas pyriteux cuprifères sont décrits comme des ségrégations d'une norite à biotite et hornblende. Nous préférons laisser ces gisements avec le groupe des amas pyriteux et des imprégnations diffuses de profondeur, qui nous paraît être le plus caractéristique de cette région africaine[2].

2° SÉGRÉGATIONS CUPRIFÈRES SANS NICKEL
Ligurie, Corse et Toscane (Monte Catini), Arghana Maden, etc.

Généralités. — Il existe, dans la région italienne, en Ligurie, en Corse et en Toscane, des exemples tout à fait caractéristiques de ségrégations cuprifères avec départs latéraux, liées au groupe des roches vertes.

Nous extraierons de l'étude spéciale que nous leur avons autrefois consacrée[3] les points capitaux.

Les roches, que l'on classe ordinairement dans ce groupe des roches vertes, sont composées de gabbros, d'euphotides, de péridotites, de diabases, de serpentines[4], etc., présentant ce caractère commun d'être disposées en amas, en lentilles, au milieu de terrains divers, avec souvent apparence d'interstratification et (au moins, à ce qu'il semble), absence totale de cheminées ascensionnelles, de dykes éruptifs.

Nous verrons bientôt, dans un cas particulièrement intéressant pour notre

[1] Voir plus haut, tome 2, pages 587 à 596.

[2] Voir tome 2, pages 666 à 669.

[3] 1901 L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie* (1 vol., Béranger).

[4] A Ivrée, on a, d'après Stella et Novarese, des gabbros et lherzolites, qui ne semblent pas avoir subi de laminage, comme les roches de la zone des *pietre verdi*.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sujet, à Monte Catini, des roches de ce genre occuper aujourd'hui une position tout à fait superficielle, que les travaux de mine ont mise en évidence, et se présenter comme une écaille charriée mécaniquement, avec un véritable conglomérat à la base.

Pétrographiquement, les roches vertes de Toscane, étudiées par Mattirolo, présentent plusieurs types, où l'on a cru voir l'indice de venues éruptives successives, et qui paraissent plutôt les résultats d'une différenciation plus ou moins avancée, exercée en profondeur sur le même magma.

D'après ce géologue, les trois types principaux sont : la péridotite (ou lherzolite), le gabbro à olivine et la diabase à olivine (parfois appelée mélaphyre). Cette dernière semble, en principe, se superposer aux deux premières roches : par exemple, à Monte Catini, ou l'on trouve, sous la diabase, qui est la roche métallifère (fig. 297), un peu d'euphotide (gabbro à diallage) et de la serpentine stérile englobées dans l'éocène.

Les minerais reliés à ces roches sont : en Toscane et Ligurie, des pyrites et chalcopyrites ; au Val d'Aoste et autour du Grand-Paradis, des magnétites, parfois avec chalcopyrite, des fers chromés, peut-être du manganèse ; à Varallo et Scopello (si l'assimilation approximative des roches est exacte), des minerais de nickel et cobalt (montrant le groupement nickel et cuivre sur lequel nous venons d'insister) ; à l'Est des Tauern, de la pyrite et de la magnétite ; en Styrie, du fer chromé ; en Bosnie, du cuivre.

La relation des minerais de cuivre avec ces roches n'est généralement pas douteuse dans le Nord-Ouest de l'Italie. Ces minerais y existent, tout d'abord, à l'état finement disséminé dans le gabbro, où ils sont composés surtout de pyrite et chalcopyrite (avec un peu de blende et de galène). On trouve, en outre, de véritables amas pyriteux formant des gîtes de départ immédiat auprès des diabases ou des euphotides du district de Gênes.

En Toscane, à Monte Catini, cette relation est également à peu près incontestable ; mais elle est, nous le verrons, compliquée en apparence par les phénomènes de déplacement mécanique et d'altération chimique, auxquels le gisement paraît avoir été soumis après son dépôt.

Ligurie[1]. — Si nous commençons par le Nord des Apennins, nous trouvons un premier district de pyrite et de chalcopyrite.

Dans le district de Gênes, au Nord de Sestri Levante, il a été produit en 1902, 21 600 t. de pyrite et 8 300 t. de minerai de cuivre ; en 1904, 27 600 t. En 1910, on a obtenu 5 614 t. de minerais à 4,7 p. 100 de cuivre[2]. La mine de pyrite de beaucoup la plus importante est celle de *Libiola*, qui produit, en même temps, quelques minerais de cuivre entre 4 et 9 p. 100 de cuivre, fondus à Bargonasco (Est de Gênes). Les gisements de *Monte Loreto*, de *Gallinaria*[2], *Bardeneto-Monte Capra*, etc.,

[1] 1857. Bornemann. *Sur les mines de cuivre sises à l'Est de Gênes* (B. S. G. F., 2e, t. 14, p. 642). — 1885. Mazzuoli. *Sul giac. cuprifero della Gallinaria* (Bol. Com. geol. d'Italia, p. 193).

[2] La fermeture des mines de la Societa Ligura Ramifera a réduit la production de 1910. D'autre part, la Société métallurgique italienne a des usines à cuivre à Torretta (Livourne), Limestre e Mammiano (San Marcello Pistoiese). (Voir *Riv. del Serv. Min. nel* 1910, p. 52). En 1910, l'Italie a extrait 68 369 t. de minerais de cuivre à 2,96 p. 100, dont 58 989 t. à 2,76 p. 100 dans le district de Florence.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

renferment des masses irrégulières de chalcopyrite en relation avec des roches vertes : diabase à *Monte Loreto;* serpentine et euphotide à *Gallinaria;* contact de la serpentine et de la diabase et veines dans la serpentine à *Bardeneto,* ainsi qu'à *Nascio-Monte Bianco.* Il existe, en outre, de très nombreux affleurement cuprifères, tels que ceux de *Casali,* la *Rossora,* etc., toujours dans des conditions analogues et de même en relation avec les roches vertes : affleurements, sur lesquels on retrouve souvent des travaux antiques.

Monte Catini[1]. — Le gisement de Monte Catini en Toscane (aujourd'hui industriellement épuisé) est situé à environ 10 km. Ouest de la petite ville de Volterra sur une éminence dont la pointe la plus haute, le Poggio Croce, atteint 592 m., tandis que la vallée voisine de la Cecina est à peu près à la cote 60.

L'ensemble de la région est formé de terrains sédimentaires d'âge tertiaire, allant de la base de l'éocène au pliocène supérieur.

Par exemple, au Monte Catini, on a de l'éocène supérieur, formé surtout d'argiles marneuses avec un peu de calcaire. Au Sud du gisement et en contact avec lui, il apparaît, en outre, des phtanites à radiolaires ou calcaires silicifères, que Lotti assimile à ceux de l'île d'Elbe et considère comme le représentant tout à fait local et renversé d'un niveau plus ancien, mais que l'on a voulu également attribuer à un métamorphisme en relation avec la présence des roches serpentineuses ou du gîte métallifère.

Sur ce terrain éocène de Monte Catini reposent des nappes de roches vertes, que l'on retrouve plus à l'Est sur d'autres étages, par exemple vers Nera et Senzano (N.E. de Volterra), sur le miocène.

Toutes ces apparitions de roches vertes ont été considérées autrefois comme autant de pointement éruptifs. Mais l'expérience a montré, au contraire, pour toutes celles que l'on a eu l'occasion d'étudier, qu'il n'existait aucune racine éruptive directe et, dans une étude de détail autrefois consacrée à cette mine, nous avons plutôt été conduit à expliquer leur mise en place par un charriage avec poussée dans le sens du Sud-Est.

Par suite de ce charriage que nous considérons comme postérieur à la métallisation, le gîte de Monte Catini présente l'allure compliquée décrite plus loin. Mais, à l'origine, nous supposons qu'il a dû exister un amas ou un système de veines de pyrite cuivreuse, associé avec une diabase et dérivé de celle-ci par ségrégation directe. Après quoi, a dû se produire un charriage, dans lequel toute la masse de diabase, avec ses minerais connexes, aura été déplacée, disloquée et morcelée, au-dessus des couches éocènes, qui lui servent aujourd'hui de soubassement. Ce charriage a dû

[1] 1846. Burat. *Mines d'Algérie et de Toscane.* — 1882. Zaccagna. *Sui terreni secondari di Monsummarso e Montecatini in val di Nievole* (Proc. verb. Soc. tosc. Sc. nat., t. 3, p. 107. Pise). — 1884. B. Lotti. *La Miniera cuprifera di Monte Catini* (Boll. R. Com. geol. d. *It.* t. 15, p. 359 à 394) avec coupes et bibl. antér. — 1889. B. Lotti (trad. par A. Cocheteux). *La genèse des gisements cuprifères des dépôts ophiolithitiques tertiaires de l'Italie* (Bull. Soc. geol. Belgique. Mémoires, Bruxelles). — 1890. A. Schneider. *La miniera cuprifera di Monte Catini* (Append. alla Revista mineraria del 1889, n° 179, 88 p. et 2 pl.). 1901. — L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie* (Congrès de Mexico), p. 49 à 67. (Nous résumons ici sommairement ce travail). — Coll. E. d. M., 1806.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

avoir lieu sous le poids d'autres terrains superposés (aujourd'hui disparus par érosion), dont la pression a produit, aux dépens de la diabase, une énorme salbande argileuse, passant à un véritable conglomérat, qui forme, sous la roche verte et sur l'éocène, la principale zone métallisée, ce qu'on appelle le « filon blanc ». On peut également expliquer par la même cause le morcellement du minerai en une quantité de boules arrondies et striées à la surface, disséminées au hasard dans cette argile et pouvant avoir toutes les grosseurs, depuis de simples grains jusqu'à des

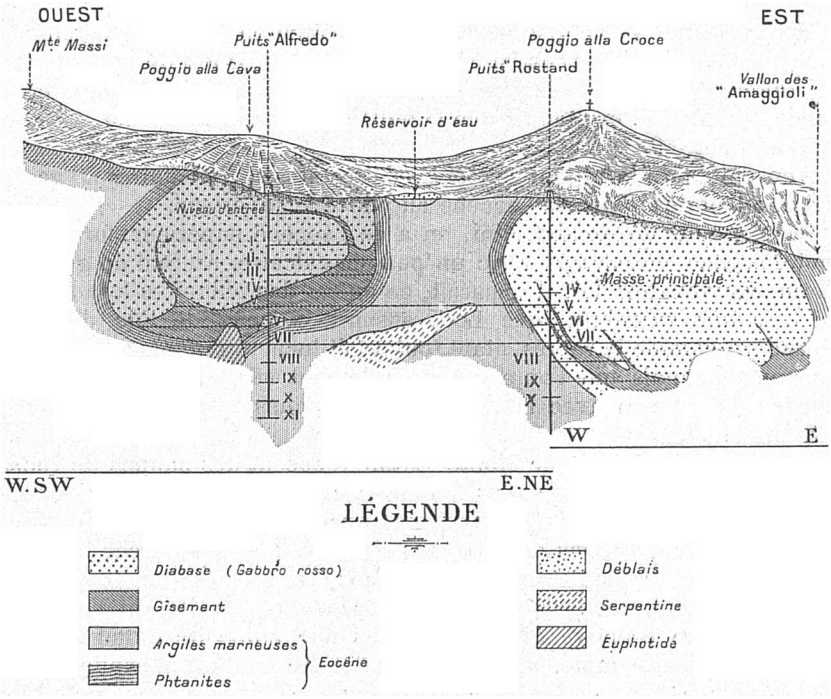


Fig. 297. — Coupe E.-W. à Monte Catini, d'après Ridoni. Echelle au 1/10 000e.

masses énormes de plusieurs centaines de tonnes, comme on a eu la chance d'en trouver parfois.

Enfin une altération secondaire a dû agir sur ces « galets » de pyrite cuivreuse ou de chalcopyrite pour les transformer plus ou moins complètement suivant leur grosseur, pour les cémenter comme nous le dirons, et pour y produire les zones concentriques d'oxydule de cuivre, chalcosine, érubescite et chalcopyrite, que l'on observe, sur les plus complètes, de la circonférence au centre.

Ceci posé, nos figures 297 à 299 montrent la disposition actuelle du gisement.

On aperçoit, sur la figure 299, deux fentes minéralisées AA'A", BB', qui autrefois ont seules représenté le gisement dans ses parties hautes et dont la disposition, comparable à celle de véritables filons, a pu donner l'idée que l'on avait un gîte filonien analogue à tous les autres. C'est ce qu'on

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

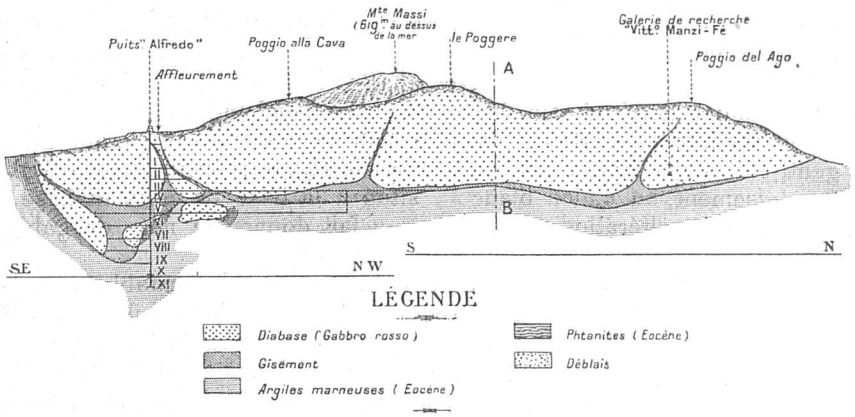


Fig. 298. — Coupe brisée N.-S. à Monte Catini, d'après Ridoni. Echelle au 1/15 000e.

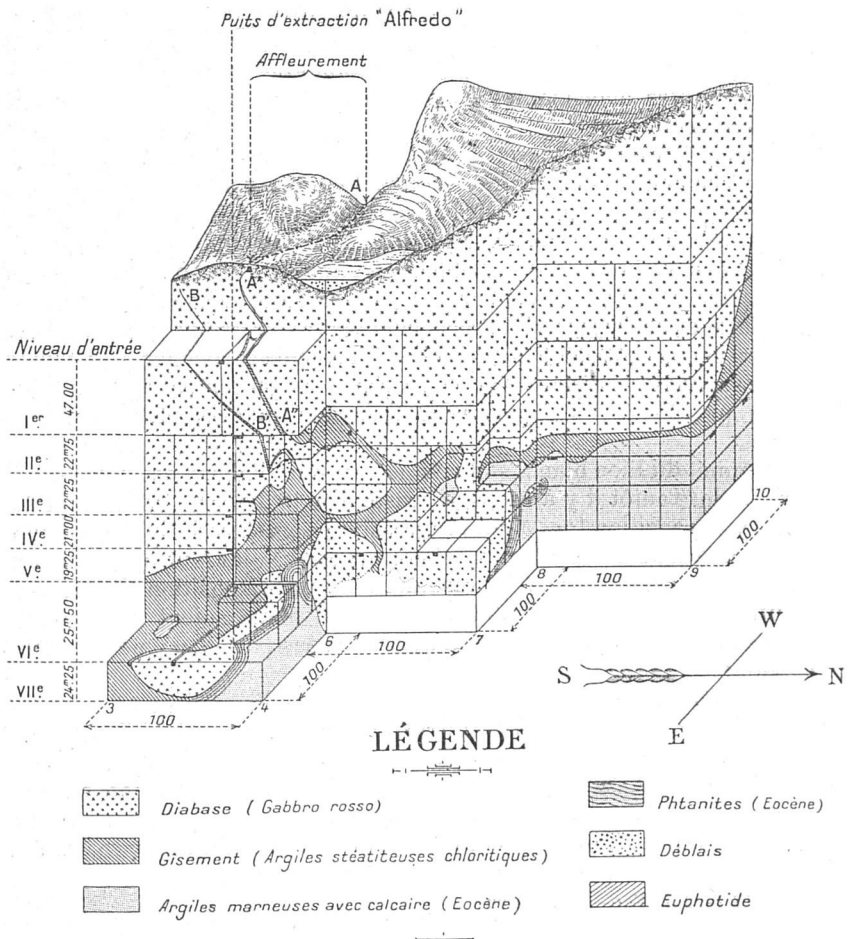


Fig. 299. — Modèle de la mine de Monte Catini, d'après Ridoni. Echelle au 1/4 450e.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

appelle les *filons rouges*, dont l'épaisseur était d'au plus 3 à 5 m. et dont la minéralisation comprenait surtout des minerais d'altération, chalcosine, érubescite, cuivre natif, avec zéolites et très peu de chalcopyrite.

Une coupe longitudinale, à peu près Nord-Sud (fig. 298) montre cinq filons semblables englobés dans la diabase (gabbro rosso), qui divergent, en s'atrophiant de plus en plus, de la salbande argileuse et métallifère (gisement, ou « filon blanc »), situé à la base de cette diabase (à laquelle son altération ferrugineuse a fait donner le nom de gabbro rosso).

Ce « *filon blanc* », qui constitue depuis longtemps le véritable gisement industriel, forme, comme le montrent les coupes, une masse de 20 à 50 m. d'épaisseur, généralement située à la base de la diabase, qui elle-même ne dépasse guère 150 à 200 m. d'épaisseur, c'est-à-dire au contact de cette roche avec l'éocène sous-jacent, mais pouvant à l'occasion être séparée de l'éocène par une intercalation de diabase.

L'aspect de ce filon blanc est celui d'une grande masse argileuse verdâtre, formée de lentilles indépendantes et chevauchant irrégulièrement les unes sur les autres : lentilles tantôt minéralisées et contenant alors en moyenne 1,10 p. 100 de cuivre, tantôt, au contraire, stériles. Les unes et les autres de ces lentilles ont une composition générale analogue à celle des roches vertes avoisinantes et peuvent avoir été produites par leur destruction mécanique.

A la base, cette argile verdâtre, qui forme le filon blanc, prend un autre aspect bréchiforme et devient alors souvent comme schisteuse ou laminée, stéatiteuse et parfois rougie. Cette zone stéatiteuse, qu'on appelle la *Saponella*, est relativement régulière et d'épaisseur constante dans les parties où le calcaire est horizontal ou faiblement ondulé. Quand on arrive au contraire dans la zone Sud (fig. 297 et 298), où les deux masses de diabase du Monte Massi et du Poggio alla Croce semblent avoir grippé dans leur charriage sur l'éocène et refoulé devant elles les calcaires éocènes plus redressés, la « saponella » disparaît et l'on trouve les phtanites, dont il a été question précédemment, avant d'arriver aux marnes et calcaires de l'éocène.

Au sommet du filon blanc, son contact avec la diabase est d'une allure très variable. Tantôt il y a passage brusque de la diabase dure à l'argile ; tantôt il y a transition tout à fait progressive ; tantôt enfin il existe, entre les deux, une zone d'altération bréchiforme, dont la largeur peut atteindre plusieurs mètres. Mais rien, en résumé, dans la disposition d'ensemble, ne contredit l'idée que la diabase et le filon blanc soient deux parties d'une même formation, différemment influencées par le même charriage mécanique.

Dans le détail, tout confirme cette supposition d'un transport avec friction, opéré sur cette salbande argileuse et stéatiteuse. Ainsi l'on trouve, dans le filon blanc, près de son contact Sud avec les phtanites, un véritable conglomérat de galets arrondis[1] et la même disposition s'accuse dans les minerais eux-mêmes, dont il nous reste à parler : minerais, qui, pour nous, sont les débris disloqués et roulés d'une formation métallifère

[1] Ech. 1806-82 à l'École des Mines.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sulfureuse, produite d'abord par ségrégation sulfureuse au contact de la diabase.

L'allure de ces minerais, qui est bien connue, consiste en une série de boules arrondies à enveloppe stéatiteuse, dont la minéralisation affecte des zones concentriques, où, selon nous, il ne faut voir que l'effet d'une cémentation par altération, sur laquelle nous allons revenir. On a remarqué, depuis longtemps, que la surface de ces boules portait des stries analogues à celles des blocs glaciaires.

Ces boules de minerais sont souvent grosses comme le poing. Par endroits, on en a trouvé un moment de beaucoup plus volumineuses : ainsi, dans un espace restreint entre le 8e et le 9e niveau, où l'on a sorti autrefois 2 000 t. de cuivre.

Encore, en avril 1904, on a rencontré une boule de 120 t. d'érubescite et chalcopyrite ayant 6 à 7 m. de long, 3,50 m. de hauteur maxima et jusqu'à 2 m. d'épaisseur. Mais ces grosses boules jouent un rôle de plus en plus restreint dans la production à mesure que les travaux s'enfoncent et qu'ils se réduisent, en somme, à des glanages.

Quant à la nature des minerais, nous avons dit que les éléments primitifs essentiels ont dû être la pyrite plus ou moins cuivreuse, qui est généralement très fine quand elle subsiste, et la chalcopyrite. Il arrive cependant de rencontrer, en outre, quelques autres sulfures. Ainsi, dans la partie Est du gisement, où la diabase remplit une poche semblable à un entonnoir, on a observé des veines sulfurées dans la diabase, ayant le caractère de stockwerk non déplacé. Et certaines de ces veinules contenaient des noyaux pyriteux de 2 à 4 cm., enveloppés par un mince filet de blende brune cupro-ferrifère.

Mais cette nature des minerais n'est pas restée aussi simple que le ferait supposer cet énoncé et elle a été complètement transformée par les phénomènes d'altération superficielle, dont il nous reste à parler.

Ces phénomènes d'altération superficielle s'accusent à Monte Catini avec une grande netteté. Entre le sommet du piton diabasique, où sont englobés les gisements et la vallée voisine, il y a 500 m. de différence d'altitude. Le niveau hydrostatique est donc profond autour de la mine.

On peut attribuer à cette circulation des eaux superficielles et à l'altération qu'elle entraîne, la peroxydation des éléments ferrugineux, qui, dans toute la zone haute de la région, a fait donner à la diabase le nom de gabbro rosso (gabbro rouge).

Mais c'est surtout pour les minerais que le processus de l'altération prend un intérêt particulier.

Lorsqu'on part des affleurements, nous avons vu que l'on trouvait d'abord les « filons rouges », c'est-à-dire des veines métallifères minces à peu près verticales incrustant des fissures de la diabase. Quels que soient l'origine de ces filons rouges et le moment où les minerais sont venus y cristalliser, soit à l'époque de la ségrégation primitive, soit à la suite du déplacement mécanique, les minerais y présentent nettement les types que nous sommes habitués à rencontrer partout dans les produits altérés : le cuivre natif associé aux zéolites, la chalcosine à près de 80 p. 100 de cuivre et l'érubescite entre 43 et 63 p. 100. La chalcopyrite, au contraire, fait à peu près défaut.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

C'est dans ces conditions que l'on a eu des plaques de cuivre natif de 20 cm., ou ailleurs des arborescences analogues à celles du Lac Supérieur.

Plus bas, nous avons vu que l'on était arrivé au « filon blanc », dans lequel la métallisation disséminée prend la forme de boules ou de grains. Dans ce filon blanc, il est remarquable que la chalcosine, et le cuivre natif disparaissent. Les minerais les plus riches en cuivre, sont représentés par de l'érubescite (43 à 63 p. 100 de cuivre) et de la chalcopyrite (34,4 p. 100). La relation réciproque de ces deux dernières formes de sulfures cuprifères est presque toujours la même. Quand les boules de minerai sont petites, elles apparaissent entièrement formées d'érubescite (c'est-à-dire pour nous, transformées en ce minerai); quand elles sont un peu plus grosses, on a fréquemment un nodule central de chalcopyrite subsistante avec une enveloppe d'érubescite. La limite entre les deux catégories de minerais, mise en évidence par leur couleur très différente, est alors d'une netteté absolue. Enfin, quand les amas deviennent très volumineux, comme la boule de 120 t. trouvée en 1904, qui avait 6 m. de long sur 3 m. de hauteur et 2 m. d'épaisseur maxima, les deux sulfures semblent quelque peu mélangés, suivant les fissurations intérieures qui ont dû diriger l'introduction des eaux; mais la chalcopyrite tend toujours à dominer dans l'intérieur et l'érubescite à la surface[1]. On a généralement vu, dans cette disposition, une forme originelle de la cristallisation et, si tout était en place et inaltéré dans ce gisement de Monte Catini, comme les anciennes théories l'admettaient d'une façon implicite, on pourrait, en effet, supposer une sorte de différenciation, de liquation opérée entre les sulfures métallifères; mais, à notre avis, l'origine de cette répartition est toute autre et réside dans un phénomène d'altération oxydante, analogue à celui que l'on réalise en industrie par le grillage ou l'oxydation à l'air des nodules cuprifères, ou encore à la cémentation naturelle, qui fait apparaître si souvent le cuivre gris avec sidérose et malachite dans la zone haute des filons de chalcopyrite[2].

Au Sud de Monte Catini, le type de gisements que nous étudions ici n'est plus guère représenté que par les quelques gîtes abandonnés du massif du *Monterufoli* à l'Ouest de Larderello, un autre également peu important à l'Est de Massa Marittima, près de *Rocca Tederighi*[3], où les minerais de cuivre sont dans une serpentine, et enfin, plus à l'Ouest, celui de *Pari*[4], où une euphotide particulièrement feldspathique contient des produits d'altération cuprifères, cuivre natif et cuprite[5].

Corse. — Cette même catégorie de gisements se poursuit en *Corse*. Dans cette île, l'un des principaux gisements cuprifères est celui de

[1] Par un phénomène tout à fait équivalent, on a trouvé à Kongsberg, au Sarrabus, au Comstock, etc., des masses d'argent sulfuré recouvertes d'une croûte d'argent natif, qui est le produit de la réduction du sulfure et qui s'accompagne parfois de chlorure d'argent.

[2] Voir dans la *Métall. de l'Italie*, p. 64. la discussion de cette hypothèse. Nous reviendrons, t. 2, p. 800, sur la théorie de la cémentation.

[3] Coll. Ec. d. M., 1620. — 1878. Parodi. *Not. pour l'Exp. univ.*

[4] Lotti. *Un giacimento di rame nativo presso Pari* (Ras. min., 21 oct. 1889).

[5] B. Lotti signale quelques autres gisements du même genre (*loc. cit.*, p. 388) à San Gimignano, Castellina Marittima, Monte Vaso, à Vallerona, près du Monte Amiata et à Acqua pendente, presque au contact de la zone volcanique, etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ponte-Leccia [1], au Nord de Corte, où une tentative d'exploitation malheureuse a été faite sur des chalcopyrites et érubescites associées à des diabases serpentinisées d'âge éocène dans des conditions qui rappellent ce que nous venons de trouver à Monte Catini, avec un pareil développement de nodules dans une partie argileuse, qui pourrait, comme nous l'avons supposé pour Monte Catini, correspondre à un phénomène de charriage. Ce gisement de *Ponte-Leccia*, comme ceux également inexploités de *Castifao* et de *Moltifao*, situés un peu plus au N.-W., se trouve dans cette partie des roches vertes qui s'intercale au milieu de l'éocène bouleversé, mais non métamorphique, sur une bande N.W.-S.E., entre les schistes lustrés de l'Est et le massif ancien granitique de l'Ouest. Un peu de plomb s'y associe au cuivre.

Plus à l'Est, des roches identiques sont comprises dans les terrains à faciès schistes lustrés et l'on y retrouve du cuivre à *Linguizetta* (Est de Corte), ainsi que à *Vezzani*, au Sud de la même ville. La même zone orientale de schistes lustrés contient également divers gîtes de fer ou de manganèse (magnétite de *Farinole* et *Olmeta*) reliés aux serpentines.

Epidaure (Grèce). — Un petit gîte analogue existe sur la côte orientale de la Morée, à environ 12 km. de l'ancienne ville d'Epidaure et au voisinage du village de Dimaina. Ce gisement, exploité jadis par les anciens, a été repris sans succès vers 1870.

Le sol de cette partie Nord-Est de la Morée est formé d'alternances de schistes et de calcaires que traversent un piton de dolérite et des serpentines. Le cuivre se trouve dans des fentes remplies de serpentine friable, en rognons de chalcopyrite, parfois chargés de sulfure noire de cuivre, ou encore en amandes de quartz ou de calcite avec mouches de pyrite de fer et de pyrite de cuivre.

Arghana Maden. — On peut rapprocher de ces gisements la mine fameuse d'*Arghana Maden* à l'Ouest de Diarbékir sur l'Euphrate. Cette mine était jadis le principal centre d'approvisionnement du cuivre pour toute l'Arménie. Elle appartient à l'Etat, qui y a fait diverses tentatives sans suite de traitement plus industriel : en 1847, sous la direction d'ingénieurs autrichiens, en 1895, sous celle d'ingénieurs italiens, qui devaient établir le procédé Manhès, mais ne purent trouver les capitaux nécessaires. Les minerais triés sont fondus sur place pour cuivre noir. Ce cuivre noir était autrefois transporté à Tokat pour y être raffiné dans des fourneaux primitifs. On l'expédie aujourd'hui tel quel en Angleterre.

De 1892 à 1911, la production totale a été de 19 025 t. de cuivre noir, dont 1 502 t. en 1903, année maxima et 728 t. en 1910. Le rendement moyen en cuivre noir est environ les 20 p. 100 du poids du tout venant. Le prix de revient est d'environ 520 fr. la tonne sur place, 825 fr. rendus en Angleterre (225 fr. de transport des mines à Alexandrette).

D'après la description de Coulant [1], il s'agit là d'une colonne filonienne, ou d'un amas de pyrite de fer cuivreuse, avec un peu de chal-

[1] Coll. Ec. d. M., 1583. — 1897. Nentien. *Et. sur les gîtes min. de la Corse* (Ann. d. M., t. 12, 9e liv.)

[1] 1912. Coulant. *Notes sur les Mines d'Arghana* (Ann. d. M).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

cosine et d'érubescite secondaire, en relation probable avec des intrusions de roches vertes, gabbros, euphotides, ophites, serpentines, etc., dans de l'éocène nummulitique : par conséquent, dans des conditions rappelant beaucoup le gîte de Monte Catini. Au contact des schistes quartzeux et de la serpentine se trouve un conglomérat, ou brèche de friction, qui fait penser à un des caractères les plus marquants de ce gisement toscan. L'amas principal, le seul exploité, a une section ellipsoïdale de 200 m. sur 110 m. et a été reconnu sur 25 m. de long. On l'évalue à 500 000 m³. Il s'y rattache de minces veines à allure filonienne contenant de l'érubescite. Dans l'amas même, on observe des veinules de sulfure de cuivre de 5 à 6 mm. Après triage, on y obtient des chalcopyrites très riches, dont on rejette tout ce qui ne contient pas 7 p. 100 de cuivre et pour lesquelles on obtient une teneur moyenne de 13 p. 100.

Transvaal. — Nous signalerons plus loin [1], pour l'association du cuivre avec le cobalt, tout un groupe de gisements transvaaliens, qui semblent se rattacher aux norites et aux diabases dans la série du Boschveld.

Nouvelle-Zélande. — En Nouvelle-Zélande [2], dans la région Nord du Westland, Mackay a signalé, au milieu de schistes paléozoïques, des roches à olivine et des serpentines, qui contiennent des quantités notables de cuivre.

III. — AMAS, FAHLBANDES, FILONS-COUCHES ET DIFFUSIONS DE PYRITE CUIVREUSE

Généralités. — Quand nous avons étudié précédemment au chapitre v, les caractères généraux de ce genre de gisements [3], nous avons vu, qu'ils se distinguent des ségrégations étudiées au § II par un lien beaucoup moins intime et moins net avec les roches ignées de profondeur. Nous trouverons plutôt ici un rapport, soit avec le métamorphisme régional pour les imprégnations diffuses des plates-formes primitives, soit peut-être avec une série microgrenue ou microlithique pour les amas d'Huelva [4]. En même temps, le nickel disparaît et l'on a généralement des pyrites de fer tenant au maximum 2 à 3 p. 100 de cuivre, avec quelquefois des traces d'or [5].

Certains gîtes, associés au métamorphisme régional et aux intrusions feldspathiques qui en sont une manifestation, présentent également (Kopparstrand, Orijärvi, Bodenmais, Ookiep, etc.) du molybdène et des métaux du même groupe, annonçant déjà les associations que nous étudierons au § VI.

[1] Tome 2, page 714.

[2] 1894. L. De Launay. *Rich. minér. de la Nouvelle-Zélande* (Ann d. M., mai, p. 31).

[3] Tome 1, pages 89 à 104.

[4] En terrains non métamorphiques, les gisements de pyrite cuivreuse sont relativement fort peu nombreux. Les seuls vraiment importants sont ceux de la province d'Huelva. On peut encore citer le Rammelsberg, Agordo (où s'accuse déjà le développement de la séricite). Oblarn en Styrie, puis quelques gisements du Gard, de la Toscane, de l'Algérie, dont le caractère est généralement très différent.

[5] Rappelons également que nous avons étudiés précédemment, au chapitre du soufre (tome 1, p. 344 à 364) quelques amas pyriteux tout à fait analogues à ceux examinés ici, mais ne renfermant pas de cuivre en proportions appréciables.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A côté des types en amas, nous avons vu qu'il convenait d'étudier aussi les fahlbandes et filons-couches des terrains métamorphiques, qui, un peu partout, aussi bien à Kongsberg et Kopparstrand qu'à Graslitz-Klingenthal, à Soimonovsk, ou à Mount Lyell, ont suivi de préférence des zones de dislocation ou de froissement.

Ailleurs on passe même à des types plus voisins des filons hydrothermaux proprement dits.

Etant donné le caractère intrusif que présentent à notre avis tous ces gisements, il n'y a aucune raison pour les décrire d'après l'âge du terrain encaissant. Nous ne nous attacherons pas non plus exclusivement à une distinction, qui offre cependant des avantages théoriques, entre des gîtes encaissés en terrains métamorphiques ou non métamorphiques ; et nous préférerons (ce qui, dans une certaine mesure, reviendra au même) suivre, le long des grandes chaînes de plissement, les provinces métallogéniques homologues, de manière à mettre bien en évidence la relation des divers types métallogéniques avec les zones tectoniques ; ce qui nous amènera à décrire :

1° *Zones à type archéen, plates-formes primitives et horsts cristallophylliens.* — *a*) Scandinavie et Finlande ; *b*) Europe centrale (Bodenmais, Graslitz ; *c*) Amérique du Nord (Terre-Neuve, Tennessee) ; *d*) Afrique Australe ; *e*) Indes.

2° *Zones hercyniennes.* — Province d'Huelva, Schmöllnitz, Agordo, Soimonovsk, Mount Lyell.

3° *Zones tertiaires.* — Ouest-Américain, Mexique, Japon.

1° AMAS PYRITEUX ET FAHLBANDES DES ZONES A TYPE ARCHÉEN (Scandinavie, Amérique du Nord, Afrique Australe, etc.).

a) SCANDINAVIE ET FINLANDE

Généralités[1]. — Les types d'amas pyriteux sont nombreux et bien caractérisés dans des régions très diverses de la Scandinavie. Le peu de relief actuel du sol, résultat de sa consolidation ancienne, les a préservés de l'oxydation profonde qui, souvent, sur des chaînes tertiaires, les rend méconnaissables et fait également qu'on y observe moins les cémentations cuivreuses enrichissantes, conséquence du même phénomène.

Industriellement, la principale de ces mines est aujourd'hui celle de Sulitjelma en Nordland. Après quoi vient l'ancienne mine de Röros.

Ces gisements, dont nous allons décrire quelques cas particuliers, se trouvent tous dans les zones métamorphiques du cambro-silurien, à l'exclusion de l'archéen, dit grundgebirge. On les y trouve à des niveaux très divers, en relation de position fréquente avec des roches de profondeur,

[1] Sur l'ensemble des amas pyriteux scandinaves, voir : 1818. Haussmann. *Reise durch Skandinavien*, t. 5. — 1826. Hisinger. *Mineral Geogr. von Schweden* (Trad. v. Wöhler). p. 36. — 1846. Daubrée. *Minerais de Scandinavie.* — 1853. Duchanoy. *Gisements de cuivre de Norvège* (Ann. d M., 5e, t. 5, p. 181). — 1870. Th. Kjérulf. *Die Geologie des südlichen Norvegens* (original en norvégien ; trad. allemande à Bonn.). — 1873. Helland. *Forekomster af Kise i Norge.* (Christiania). — 1888. Reusch. *Bömmelöen og Karmöen.* — 1890. Vogt. *Salten og Ranen* (avec bibl.). — 1894. Vogt. *Ueber die Kieslagerst. vom Typus Röros und Rammelsberg* (Z. f. pr. G.). — 1905. Vogt. *Les mines du dist. de Trondhjem* (en norvégien).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

souvent laccolithiques, procédant des gabbros, qui les accompagnent et souvent les traversent[1]. La plupart des amas pyriteux sont, dans l'ensemble, concordants avec les terrains encaissants et situés à moins de 100 m. d'un gabbro, comme le montrent notamment les coupes de Röros. Quelques-uns d'entre eux, comme à Meraker, sont dans le gabbro même, où ils dessinent des zones parallèles. Beaucoup englobent de nombreuses esquilles schisteuses et passent par imprégnation latérale à des fahlbandes ou imprégnations diffuses. Il résulte de cette dispersion dans les schistes une allure zonée, que nous ne retrouverons pas dans les amas plus volumineux d'Huelva, encaissés en terrains non métamorphiques. On a remarqué que leur plongement est souvent faible, ainsi que celui des terrains encaissants ; mais il y a des amas verticaux, tels que Vigsnaes. Leur allongement dessine souvent des zones interstratifiées, avec ramifications latérales en cul-de-sac, que représente bien la figure 7 de Killingdall[2].

Dans leur composition, on peut remarquer l'absence presque complète de l'arsenic. D'autre part, sauf dans quelques cas comme à Fosdalen sur le fjord de Throndhjem, on n'a pas, avec la pyrite, l'association de magnétite, qui est si caractéristique dans d'autres groupes de gisements[3].

Falun (Suède)[4]. — Les gisements de pyrite de fer cuivreuse de Falun (ou Fahlun) sont situés au voisinage de la ville du même nom, au Nord-Ouest de Stockholm.

Leur exploitation est fort ancienne; elle remonte à 1120, et, pendant longtemps, Falun a été le centre le plus important de la production du cuivre en Scandinavie (3 300 t., en moyenne, au XVII[e] siècle).

Vers 1885, on produisait encore, avec des minerais à 3 p. 100, environ 500 t. de cuivre par an, 450 kg. d'argent et 70 kg. d'or. En 1898, on a même atteint 110 kg. d'or pour retomber à 26 en 1907. Au total, on peut avoir extrait 500 000 t. de cuivre, 15 t. d'argent et 1 t. d'or d'un amas qui occupait 300 m. de long sur 100 m. de large et 330 m. de profondeur.

Les terrains encaissants présentent, aux alentours immédiats de Falun, des gneiss gris, des schistes micacés passant à des quartzites et des alternances feldspathiques analogues aux roches que nous appelons leptynites dans le Plateau central français et que les géologues suédois désignent sous le nom de granulites. Ces divers terrains, par suite des plissements qu'ils ont subis, forment des bandes successives, dirigées dans l'ensemble Est-Ouest, avec un plongement presque vertical, mais présentant, dans le détail, une série d'inflexions qui sont particulièrement sensibles aux environs les plus proches de Falun. Du côté Nord, vers Stennäset, ces terrains sont bornés par un massif de granite gris, du côté Sud par du gneiss-granite. Comme roches accessoires, on trouve, vers

[1] Cette relation avec les gabbros, présentés par Vogt après Kjérulf comme constante et immédiate, n'offrirait pas, d'après Beck (2, 196), la netteté qu'on a voulu lui attribuer.

[2] Voir au tome 1, page 97.

[3] Voir notamment les minerais du type Banat, Traverselle, etc.

[4] Coll. Ecole des Mines, 1539. — Gisement visité en 1890. — 1845. TJAGER. *Karta öfver Fahlueller Stora Kopparbergs Gruvor.* — NORDENSTRÖM. *Fynd af gediget guld i Falu grufva* (Geol. Fören, t. 6, p. 59). — 1893. TÖRNEBOHM. *Om Falu grufvas geologi* (Geol. Fören, t. 15). — 1896. TH. WITT. *Några tekniska och ekonom. upgifter rörande Falu Grufva* (Falun).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'Ouest, un certain nombre de massifs de diorite et de gabbro-diorite alignés suivant la direction générale de la schistosité et qui paraissent très comparables aux amphibolites à structure dioritique de notre Plateau Central.

A travers tout cet ensemble, on constate, à l'Ouest, plusieurs filons de diabase N.-W.-S.-E. et quelques veines talqueuses plus ou moins bréchiformes et à feuillets irrégulièrement enlacés, fréquentes dans les gisements de Scandinavie (voir, plus loin, Kongsberg, Sala), que les géologues suédois appellent sköl ou skölar et qui correspondent aux ruschel allemands. Ce sköl, dont la composition dépend de la nature des roches qu'il traverse, renferme parfois des cristaux de magnétite, de gahnite, de grenat et de falunite. On y trouve, assez souvent, des lentilles pyriteuses irrégulièrement disséminées et, pendant longtemps, on a cru que le grand amas principal de Falun en était entouré.

D'après Törnebohm, qui a entrepris une étude approfondie de ce gisement, étude rendue très difficile par l'antiquité des travaux et la disparition ou l'effondrement de la majeure partie de l'amas, le fait serait loin d'être démontré. Le schöl représenterait, suivant lui, un remplissage de fentes et l'amas lui semblerait plutôt encadré entre deux failles.

Les gisements de Falun sont encaissés dans des quartzites plus ou moins micacés. On a parfois des nids pyriteux, qui englobent des fragments de quartzite, et dont le sulfure pénètre dans les grains de quartz. C'est le minerai dur, ou hardmalm, qui atteint 5 à 6 p. 100 de cuivre. Mais, en outre, il s'isole, dans les mêmes terrains, des amas de pyrite compacte plus tendre (blöt malm) à 2 ou 3 p. 100 de cuivre, qui eux-mêmes peuvent être considérés comme des quartzites pyritisés. Quelques minerais spéciaux résultent de l'imprégnation d'un calcaire (pyrite calcaire) ou d'un skarn. Les trois principaux amas : Storgrufva (grande mine), Källorts, Drottninge, s'alignent suivant une direction N.-W.-S.-E.

L'amas principal de minerai, où se trouve la Storgrufva, peut être comparé grossièrement à un sac de 200 m. de diamètre, largement ouvert en haut et fermé en bas, dont on a trouvé le fond depuis déjà près d'un siècle vers 330 m. Des veines rectilignes de pyrite de cuivre le traversent.

Les caractères du gîte, la schistosité qu'on y rencontre fréquemment, l'intercalation de lamelles micacées et amphiboliques, l'abondance du quartz, enfin la comparaison avec les amas voisins indiquent bien la pénétration ultérieure.

Il est, d'ailleurs, visible que le terrain primitif a été fortement plissé dans cette région et il ne serait pas surprenant que, dans ce plissement, les amas de pyrite, quelle qu'ait été leur allure primitive, eussent joué le rôle d'un coin plus résistant brisant les strates à leur voisinage. Le sköl, qui entoure une partie du gîte, n'est, comme nous venons de le dire, qu'un remplissage de faille.

En dehors de l'amas principal, il existe un grand nombre d'autres lentilles pyriteuses généralement brisées : quelques-unes très nettement interstratifiées et passant graduellement à la roche encaissante ; d'autres, au voisinage, se présentant comme de véritables filons.

Un point intéressant, c'est la présence de l'*or* dans quelques parties de ces amas.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Depuis longtemps, on savait que le minerai de Falun était aurifère et, dès 1790, on en avait extrait un peu d'or (environ 2 kg. par an).

En octobre 1881, on découvrit l'or natif dans le minerai dur d'un chantier, nommé Menka, ouvert dans la région d'Ostra Härdmalmerna (minerais durs de l'Est).

Le hardmalm de Menka consiste, comme tout le minerai de la région environnante, en quartzite gris plus ou moins imprégné de pyrite cuivreuse avec un peu de pyrite magnétique ; il contient aussi, çà et là, des bandes de quartz blanc, ressemblant au quartz blanc qu'on rencontre souvent à Falun en filons, mais présentant un aspect plus laiteux. C'est dans ce quartz blanc que se trouve l'or : soit sous forme de grains qui atteignent exceptionnellement quelques millimètres de diamètre, soit, plus souvent, à l'état invisible.

Avec lui, se présente fréquemment un minéral d'un blanc d'argent très brillant, qui, d'après les analyses de Nordenström, aurait pour formule $Pb\ (S.\ Se)\ Bi^2\ (S.\ Se^3)$, c'est-à-dire serait un sélénio-sulfure de bismuth et de plomb. C'est ce minéral à forme bacillaire qui permet aux mineurs de reconnaître et de trier les fragments contenant de l'or invisible.

Le gîte de Menka, où l'on extrait l'or, est assez restreint. Mais, outre ce minerai d'or proprement dit, on a constaté, depuis, que toutes les pyrites de la région de Falun contenaient une proportion d'or atteignant en moyenne 2 à 3 gr. par tonne et c'est de ces pyrites, bien plus que des minerais aurifères proprement dits, que provient l'or extrait à Falun.

Röros (Norvège)[1]. — Les mines de pyrite de fer cuivreuse et de pyrite de cuivre de Röros, ou Rœraas, font partie d'une bande cuprifère commençant en Suède au lac de Kalln et à l'Åreskuttan et s'étendant, en Norvège, jusqu'au Sognefiord, avec une direction générale N.E.-S.W.

La ville de Röros, centre des mines du même nom, est située un peu au Sud de Throndhjem, sur la ligne de Throndhjem à Kristiania. L'exploitation date de 1646. Parmi les mines principales, on peut citer : *Storvarts Grufva*, à 9 km. N.-E. de Röros, surtout cuprifère; *Ny Solskins Grufva*, à côté de Storvarts Grufva ; *Mug Grufva*, à 22 km. ; *Christians Grufva ; Kongens Grufva* (surtout exploitée pour pyrite de fer).

Ces divers gisements, quoique en relation manifeste les uns avec les autres, se présentent dans des conditions très variables de l'un à l'autre : ce qui a peut-être contribué à causer les contradictions qu'on rencontre chez tous les auteurs qui en ont parlé.

Tous sont situés au milieu des schistes micacés, chloritoschistes et talcschistes ; mais, suivant les cas, on a affaire à une apparence d'interstratification (à Mug Grufva, par exemple), ou à une intrusion à peu près incontestable comme à Kongens Grufva. En outre, la nature et la proportion des divers sulfures associés est extrêmement différente d'un gîte à l'autre.

A *Kongens Grufva*. j'ai relevé autrefois la coupe suivante (figure 300).

A l'affleurement, l'amas pyriteux est dirigé Est-Ouest et plonge vers le Nord avec un pendage très raide. A 15 ou 20 m. de profondeur, on le

[1] Coll. Ecole des Mines, 1538. — Gisement visité en 1890. — 1873. Nette Koven. *Mitt. über ein. Bes. des Erzrev. von Röros.* (Z. f. B. H. u. S. im. pr., St., t. 33, p. 79-87).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

voit recoupant, tout le long du mur, les schistes assez faiblement inclinés, dans lesquels il lance de courtes ramifications interstratifiées. Plus bas, le gîte se recourbe, au contraire, vers le Sud, et, peu à peu, prend l'apparence d'un gîte interstratifié.

Du côté du toit, le filon est constamment accompagné par une roche de la famille des gabbros, appelée par les mineurs *haardart* (roche dure), qu'on a traversée sur 60 m. d'épaisseur et à laquelle j'ai depuis longtemps proposé d'attribuer un rôle génétique.

L'amas de Kongens Grufva a de 2 à 6 m. d'épaisseur. Il est principalement composé de pyrite de fer assez homogène, mais contenant fréquemment des intercalations de schistes pénétrés de pyrite. En dehors des sulfures, on trouve, surtout dans les veines latérales, un peu de quartz.

Le minerai extrait renferme : pyrites de fer et de cuivre, pyrite magnétique, parfois blende ; la galène y manque. On le divise en plusieurs catégories :

1° Minerai à 5-6 p. 100 de cuivre, fondu sur place ;

2° Pyrite de fer n° 1, de teinte jaune, contenant de 2 à 3 p. 100 de cuivre et exportée ;

3° Pyrites n° 2 et 3, appauvries par la blende ;

4° Haldes, abandonnées jusqu'à nouvel ordre, renfermant beaucoup de pyrite magnétique.



Fig. 300. — Coupe verticale théorique d'un amas de pyrite cuivreuse à Röros (Kongens Grufva).

Le gisement de *Storvarts Grufva*, qui a été surtout décrit par tous les anciens visiteurs, suit, au contraire, la schistosité des couches encaissantes, dont l'inclinaison est assez faible (environ 10°). Ces couches sont : des schistes chloriteux, parfois grenatifères, dans lesquels les amas semblent s'enrichir ; des micaschistes plus quartzeux, où ils passent, au contraire, pour pauvres. Ils sont recoupés, près de la mine, par un massif de gabbro. La puissance du gîte est assez variable, depuis 20 ou 30 cm. jusqu'à 4 ou 5 m., avec des bifurcations nombreuses, des renflements et des serrées. En somme, on a affaire à une succession de petits amas, sur lesquels, paraît-il, les schistes se moulent exactement. L'étendue exploitée est d'environ 100 à 150 m. en direction. *En inclinaison*, on s'est enfoncé à 1 500 m. de l'affleurement.

Dans ce gisement, la proportion de pyrite de fer est beaucoup moins grande qu'à Kongens Grufva. Au contraire, la chalcopyrite est plus abondante. On trouve, en outre, de la blende, de la galène, de la pyrrothine et un peu de nickel (0,25 p. 100 des minerais). Dans les échantillons provenant de cette mine, on voit constamment, au milieu de la pyrite, des lamelles de schiste intercalées.

A *Mug Grufva*, le gisement est tout à fait interstratifié, avec une inclinaison assez faible, et ne comprend que pyrite de cuivre et pyrrhotine.

Les coupes de Vogt, qui ont été discutées, le représentent à 50 m. au-dessous d'un gabbro à saussurite, qui, comme toutes les roches du même genre, ne serait qu'un gabbro normal dynamo-métamorphisé. Le même géologue figure, dans ses coupes, une superposition identique à *Quintus-Hestekletten*.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

En 1907, Röros a produit 16 700 t. de minerai à 4,32 p. 100 de cuivre (soit 621 t. de cuivre) et 13 900 t. de pyrite exportée à 2,61 p. 100.

La production de toute la région a été, d'après Vogt, de 1632 à 1903, d'environ 75 000 t. de cuivre et 300 000 t. de pyrite exportée, à raison de 500 à 700 t. de cuivre par an.

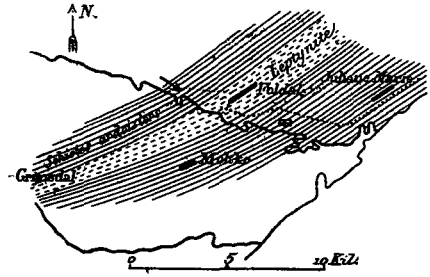


Fig. 301. — Carte de la région de Foldal.
Les amas pyriteux sont représentés par un trait noir.

Foldal (Norvège). — Au Sud-Ouest de Röros, à Foldal, on a autrefois exploité des amas de pyrite intercalés dans les mêmes terrains : schistes et leptynites. Les imprégnations pyriteuses se succèdent là sans continuité et en passant d'une strate à l'autre sur environ 1 km. de long. L'amas le plus important a été reconnu, sur 220 m. de long et 120 m. de profondeur, avec une épaisseur moyenne de 4 à 5 m. et des renflements atteignant 13 m. Le minerai est de la pyrite de fer contenant environ 2,2 p. 100 de cuivre et pas d'arsenic. Des exploitations, commencées en 1748, en ont autrefois retiré près de 300 000 t. comme minerai de cuivre.

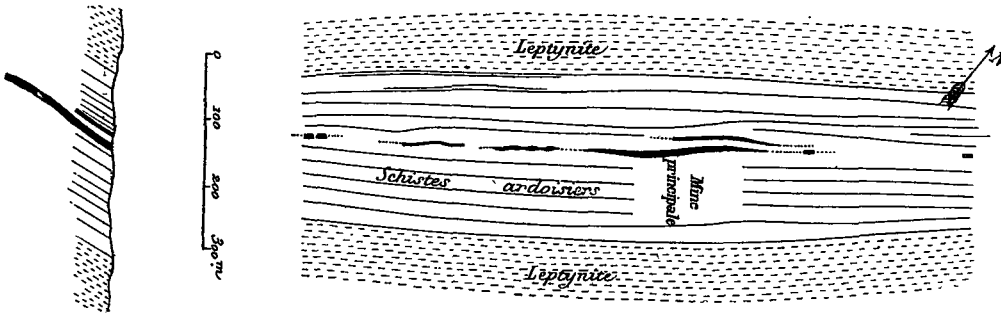


Fig. 302. — Plan et coupe du gîte de Foldal.

Sulitjelma[1]. — Cette mine, située au Nord du cycle polaire et exploitée seulement depuis 1880, tient aujourd'hui la tête de la production norvégienne avec 11 000 t. de minerai de fusion à 6,18 de cuivre (701 t. de cuivre en 1907) et 102 000 t. de pyrites d'exportation.

On a là, sur environ 8 km. de long, une zone pyriteuse associée avec des schistes à amphibole et à zoïzite qu'on assimile à des gabbros écrasés. Sur cette zone, qui, dans l'ensemble, n'est qu'une sorte de fahlbande sans valeur, on trouve six amas, dont les plus grands ont 150 à 250 m. de long. Dans le détail, il faut bien remarquer que le niveau stratigraphique

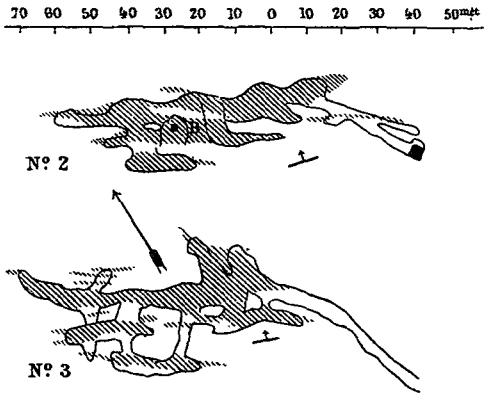
[1] 1891. Stelzner. *Die Sulitjelmagruben.* Freiberg. — 1894-1900. Sjögren. *Ueber Sulitjelma* (Geol. Fören Forh.). — 1906. O. Stutzer. *Beob. an den Kieslagersl. Sulitjelma. Röros-Klingenthal* (Oest. Z. f. B. u. H., n° 44; cf. 1909. Z. f. pr. G., p. 130-135).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des pyrites varie d'un point à l'autre. Les pyrites sont aussi bien au toit qu'au mur des gabbros, ou encore en plein dans les micaschistes, et le gabbro à saussurite en renferme lui-même. Des apophyses se détachent nettement du gîte principal, aussi bien à Sulitjelma qu'à Nya-Sulitjelma.

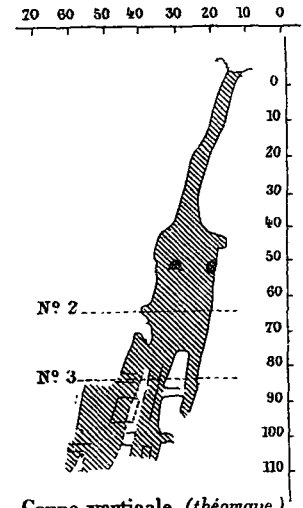
Vigsnæs (Norvège)[1]. — Le gisement de Vigsnæs, situé dans l'île de Karmö, entre Bergen et Stavanger, fut découvert en 1863. Il a été exploité avec activité jusqu'en 1890 par une compagnie minière belge, qui faisait le traitement des minerais à Hemixen, près d'Anvers.

Dans les premières années, l'extraction montait à 4 800 t. de minerais



Coupes horizontales *(théoriques)* du gîte de Vigsnaes

Fig. 303.



Coupe verticale *(théorique)* du gîte de Vigsnaes d'après Mr Paske

Fig. 304.

riches et non arsénicaux ; on a extrait ainsi pour près de 30 millions de francs de minerai ; mais, peu à peu, les parties connues du gîte se sont appauvries et finalement épuisées.

Le gisement est compris dans une zone de schistes anciens et de quartzites bleus d'âge mal déterminé, dirigés à peu près S.E.-N.W. et fortement disloqués par de nombreuses roches cristallines, parmi lesquelles domine le gabbro à saussurite. Le pendage général des schistes est dirigé vers le Nord-Est avec une forte inclinaison.

Aux affleurements, on avait rencontré d'abord, dans une bande de schistes serrée entre deux massifs de gabbro à peu près parallèles à la stratification, un chapeau de fer de petites dimensions, imprégné de cuivre. Le travail en profondeur a conduit ensuite à un amas de pyrite de fer chargée de chalcopyrite, dont les dimensions ont commencé par surpasser, de beaucoup, celles de l'affleurement. Cet amas a la forme

[1] 1881. Génie civil, t. 1, n° 10. — 1881. Chesneau. Mémoire man. à l'Ecole des Mines.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'une colonne aplatie plongeant de 70 à 73° vers le Nord. Sa largeur en direction est comprise entre 45 et 90 m. (voir les coupes, fig. 303, 304). En profondeur, la couche qui, jusqu'à 40 m., a une puissance assez constante comprise entre 3 et 5 m., se renfle subitement jusqu'à une épaisseur de 15 m. et, un peu plus bas, se subdivise en trois rameaux parallèles d'épaisseur variable, séparés par des couches de schistes. A la profondeur de 100 m., le rameau le plus puissant se bifurque, à son tour, en deux couches. La masse du minerai finit donc par former quatre couches distinctes.

Les schistes, au contact du minerai, sont imprégnés de pyrite de fer et un peu de quartz jusqu'à une certaine distance, 18 m. au Sud. De ce côté Sud, ces schistes sont recoupés, à 18 m. du gîte, par le gabbro à saussurite contenant de nombreux fragments de schiste. Au Nord, ils s'arrêtent à une bande de quartzite, au delà de laquelle on retrouve le schiste non imprégné.

En direction, les ramifications interstratifiées de l'amas se terminent toutes par des étranglements.

Dans ce gisement, le minerai dominant est la pyrite de fer saccharoïde plus ou moins finement imprégnée de chalcopyrite et de blende. Tantôt cette pyrite est mal agglomérée (minerai friable), tantôt très compacte.

Aucune loi précise ne paraît présider à la répartition du cuivre et du zinc dans le minerai ; toutefois, on a remarqué souvent, comme à San Domingos et comme dans quelques autres mines signalées précédemment[1], que la partie supérieure d'un amas est plus riche en cuivre que la partie inférieure.

La teneur en cuivre a été, en moyenne, de 3 à 4 p. 100 avec 43 à 45 p. 100 de soufre. On y a trouvé (rarement il est vrai), des boules de chalcopyrite pure ; mais celles-ci, de même que la blende pure, se rencontrent uniquement en dehors des gîtes, sous forme de petites veines remplies par un phénomène de sécrétion.

Les gangues normales associées aux minerais sont l'amphibole plus ou moins fibreuse ou altérée, le talc, la chlorite, le carbonate de chaux et le quartz.

D'une façon habituelle, on trouve le plus souvent : au toit, de la pyrite de fer blendeuse avec de petits amas de chalcopyrite ; au centre, de la pyrite de fer intimement mêlée de chalcopyrite ; au mur, de la pyrite de fer non cuivreuse.

Le minerai est, surtout vers ses épontes, mêlé d'une assez forte proportion de chlorite.

Un phénomène d'exsudation postérieure, qu'on retrouve dans la plupart des amas pyriteux, paraît avoir déterminé le remplissage de fissures minces par de la chalcopyrite, etc... Ce qui semblerait confirmer cette idée, c'est l'existence, à Vigsnæs, d'assez nombreuses fractures minéralisées dans les schistes, fractures reliant les principaux amas et la présence, dans la masse pyriteuse, de fragments abondants de quartz englobés.

[1] Tome 1, p. 101, 166, etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Fahlbandes de Kongsberg, Kopparstrand, etc. — Nous rapprochons des gisements précédents un certain nombre de fahlbandes cuivreuses[1], qui se trouvent en association génétique avec eux dans les mêmes régions géographiques. Les fahlbandes de *Kongsberg*, dont nous parlerons à propos de l'argent, contiennent peu de cuivre. Mais la teneur en cuivre est sensible dans la fahlbande de *Kopparstrand*[2], à l'Ouest du lac Wener, que l'on a pu suivre sur 25 km. dans les phyllades précambriens, avec une épaisseur assez constante de 0,50 m. C'est, au-dessous de quartzites, un lit de schistes imprégnés par de la pyrite cuivreuse avec un peu de cuivre panaché et de chalcosine et, comme cela se produit si souvent dans ces gîtes scandinaves, du molybdène et de l'uranium. La teneur est de 0,75 p. 100 au toit et atteint 1 à 2 p. 100 vers la base. Un dyke de diabase de 10 m. traverse le gîte.

Åtvidaberg et Bersbo (Suède)[3]. — Indépendamment des véritables fahlbandes, il existe, dans la plate-forme scandinave et finlandaise, des zones sulfurées interstratifiées au milieu de terrains métamorphiques.

L'on y trouve, tantôt du cuivre ou même de l'étain, tantôt du zinc, ou, plus rarement, du plomb. Généralement ces lentilles suivent les plissements du terrain encaissant, dont elles ont incrusté les baillements. L'association d'un groupe de lentilles parallèles, occupant, par conséquent, divers niveaux stratigraphiques sur une même zone métallisée, suffit alors pour indiquer le caractère intrusif du phénomène. On y rencontre d'ordinaire la magnétite avec les sulfures et, parmi ceux-ci, quelquefois un peu de molybdène, de bismuth et d'étain, comme dans beaucoup de gisements liés aux intrusions pegmatoïdes.

Il est difficile, en présence du métamorphisme régional qui a uniformisé l'ensemble, de dire exactement dans quelle mesure ces gisements ont pu jadis prendre les caractères de filons-couches proprement dits, de gîtes de contact, etc. Nous les étudierons à Åtvidaberg, Bersbo, Sjangeli, Orijärvi.

Par exemple, la vieille mine d'*Åtvidaberg*, au Sud de Norrkoping, présente une zone métallisée de 0,3 m. à 3 m. avec pyrite cuivreuse, magnétite et quartz, entre un mur de gneiss à tourmaline contenant lui-même de la magnétite et de la chalcopyrite disséminées et un toit de micaschistes à épidote.

A *Bersbo*, des gneiss à grains fins avec intrusions granitiques englobent un lit de pyrite cuivreuse associée à des silicates (grenat, hornblende), et à du spinelle, avec un peu de magnétite, de pyrrhotine et de blende.

Sjangeli (Laponie suédoise)[4]. — Près de la frontière norvégienne, au Torneå Træsk, les gisements inexploités de Sjangeli présentent des minerais de cuivre intercalés en lentilles ou veines au milieu de terrains

[1] Voir le sens de ce mot au t. 1, p. 94.

[2] Beck. *Loc. cit.*, t. 2, p. 93. — La présence du molybdène établit un passage au groupe VI (voir p. 710).

[3] 1884-85. Törnebohm. *Om de geol. förhallandena i trakten Kring Åtvidaberg och Bersbo* (Geol. För. Förh. Stockholm, p. 562-597, avec carte).

[4] 1897. W. Petersson. *Om. de geol. förh. i trakten omkring Sjangeli...* (Geol. För. Förh., t. 19, p. 296-306).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

archéens (schistes amphiboliques à zoïzite) dans les conditions très caractéristiques des plates-formes primitives où l'on trouve la blende d'Ammeberg ou de Rævåla, etc[1].

Il semble que l'on ait là une métallisation de profondeur en rapport avec le métamorphisme régional et avec les injections granitiques qui caractérisent essentiellement celui-ci. Comme il arrive souvent en pareil cas, les sulfures de cuivre (chalcopyrite, chalcosine, érubescite) sont accompagnés de magnétite.

Orijärvi (Finlande)[2].—De même, sur la rive N.W. du lac Orijärvi, dans la province Åbo, il existe des zones parallèlement plissées de hälleflint et de gneiss avec intercalations de lentilles calcaires plus ou moins transformées en silicates (skarn). Des lentilles et nids interstratifiés de minerais de cuivre ou de blende s'intercalent dans cet ensemble, soit dans un terrain silicifié, soit dans des schistes chloriteux, soit dans un calcaire cristallin ; notamment, dans ce dernier, non loin d'un dyke de diorite auquel on peut attribuer un rôle actif. Les minerais comprennent, avec beaucoup de silicates, une association de magnétite et de sulfures (pyrite, pyrrhotine, etc.) et un peu de molybdénite, rappelant, comme à Kopparstrand, l'association du molybdène et du cuivre dans les gîtes suédois liés aux pegmatites. Il semble que toute cette métallisation soit en rapport avec l'intervention granulitique, à laquelle nous rattachons également les gîtes d'Åmmeberg, d'Oddegården, etc.

b) EUROPE CENTRALE (BODENMAIS, GRASLITZ)

On retrouve, en Europe centrale, dans des conditions plus problématiques, quelques gisements analogues à ceux de la plate-forme primitive scandinave : gisements généralement situés sur des horsts à faciès archéen, minéralisés en profondeur à une époque indéterminée et ultérieurement ramenés au jour. Nous citerons seulement ceux de Bodenmais et de Graslitz, à cause des rapprochements intéressants qu'ils présentent avec les gîtes de Norvège. Leur âge réel est inconnu, probablement antérieur aux mouvements hercyniens.

Bodenmais (Bayrischer Wald)[3]. — A Bodenmais, des gneiss à cordiérite et grenat, dont la formation se rattache à la présence d'un granite voisin, renferment de nombreuses imprégnations pyriteuses, ou fahlbandes, qui, par endroits, se concentrent en masses lenticulaires, souvent localisées au contact de deux terrains différents. L'exploitation remonte à 1364.

[1] Voir leur description au t. 3.

[2] 1849. Durocher. (Ann. d. M., 4e sér., t. 15, p. 314-316). — 1893. Tigerstedt. *Om Finlands Malmförekomster* (Vetensk. meddel. af geogr. fören. i Finland). — 1899. Moberg. *Industrie métallurgique et carrières.* Atlas de Finlande. Texte Fennia, 17, n° 23.

[3] 1864. Gümbel. *Geologie von Bayern.* — 1891. Thiel. *Beitr. z. Kennt. der nutzb. Min. des Bayrischen Waldes* (Diss. Erlangen). — 1901. E. Weinschenk. *Die Kieslagerst. im Silberberg bei Bodenmais. Ein Beitrag zur Entstehungsgeschichte der Fahlbänder* (Abh. K. bay. Ak. d. Wiss., t. 21; cf. Z. f. pr. G., 1900). — 1901. Gruber. (Abh. bay. Ak. d. Wiss., t. 21). — Voir une coupe dans Beyschlag-Krusch-Vogt (*loc. cit.*, p. 334).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les minerais comprennent surtout de la pyrrhotine pauvre en nickel, avec traces d'or et d'argent, de la pyrite, de la chalcopyrite, de la galène et de la blende, accessoirement de la magnétite. La galène argentifère a été, par endroits, assez abondante pour valoir autrefois à la montagne le nom de Silberberg. Une particularité de ce gîte, connu pour ses nombreux minerais, est l'existence de la cassitérite, qui s'est concentrée localement. Cette observation nous paraît d'accord avec les autres caractères du gisement pour faire rattacher la métallisation, comme épisode final, à l'intrusion du granite voisin et au métamorphisme régional qui en a été la conséquence. La présence de quartz bipyramidé a été considérée par Weinschenk comme une preuve de ségrégation magmatique.

Graslitz, Klingental (Bohême, Saxe). — Dans l'Ouest de l'Erzgebirge, près de Graslitz, exactement sur la frontière de la Bohême et la Saxe, on connaît, au milieu des phyllites quartzifères superposés au granite à tourmaline de l'Eibenstock, quelques veines pyriteuses de 1 à 3 m., qui représentent des zones de froissement conformes à la stratification et minéralisées, avec sinuosités conformes aux plissements des terrains encaissants. Ces zones métallisées sont, à bien des égards, comparables à des fahlbandes. Au toit, on a, dans une assise spécialement étudiée par R. Beck, une zone broyée à lentilles quartzeuzes avec des veinules de chalcopyrite, un peu de pyrrhotine et des traces de blende ou de mispickel. Au mur, on a seulement de la pyrrhotine avec peu de chalcopyrite. La teneur moyenne en cuivre est de 1 à 1,3 p. 100 de cuivre. Les minerais à 10 p. 100 de soufre sont amenés par concentration à une teneur de 22 p. 100. C'est évidemment un cas d'imprégnation diffuse formant fahlbandes dans des schistes préalablement froissés et, suivant Beck, le phénomène accuserait ici une intervention hydrothermale. On ne voit pas, d'après lui, l'indication de roches ayant pu donner lieu à une ségrégation magmatique, que Vogt suppose néanmoins par assimilation avec la Norvège. Le district a produit 36 000 t. de pyrite en 1907.

c) AMÉRIQUE DU NORD (TERRE-NEUVE, TENNESSEE)

Terre-Neuve[2]. — L'île de Terre-Neuve forme le prolongement plissé des zones du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Ecosse, avec discordance entre le précambrien et le cambrien, cambro-silurien cuprifère séparé du carbonifère par une discordance nouvelle et bassin triasique au centre du carbonifère affaissé.

Les mines de cuivre, découvertes depuis 1857, sont situées dans la baie Notre-Dame, au Nord de l'île (Tilt Cove, Bett's Cove, Little bay, etc.) Les dépôts sont formés de grands amas, grossièrement interstratifiés, de pyrite de fer cuivreuse. A la mine Bluff (Tilt Cove), qui peut nous servir de

[1] 1901. Gübert. *Erzlagerst. zw. Klingenthal und Graslitz* (Z. f. pr. G., p. 140-144). — 1905. Beck. *Kieslagerst. im sächs. Erzgebirge* (Z. f. pr. G., p. 12-23). — 1905. Baumgärtel. *Beitr. z. K. d. Kiesl. zw. Klingenthal und Graslitz* (Z. f. pr. G., p. 353-358). — 1906. Stutzer. *Alte und neue geol. Beob. an den Kiesl. Sulitelma-Röros-Klingenthal* (Oest. Z. f. B. u. H., n° 44, p. 1-6; cf. Z. f. pr. G., 1909, p. 133).

[2] 1892. Howley. *Mineral Resources of Newfoundland.* — 1894. L. De Launay. *Richesses minérales de Terre-Neuve* (Bull. Ann. d. M., mars). — Voir fig. 289, tome 2, p. 588.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

type, le gisement est encaissé dans des schistes chloriteux très pyritisés, du cambro-silurien, contenant des lits de dolomie et des traînées de serpentine avec grains de fer magnétique. Immédiatement au toit se présente une masse de diorite à veinules d'épidote ; puis, vers le Nord, un dyke de serpentine. Au mur, on a des diorites, des schistes sombres et des bancs de jaspe rouge. L'amas métallifère, comparable à ceux de Norvège, renferme souvent des intercalations schisteuses et chloritiques. On y voit tous les passages à des schistes imprégnés de pyrite.

La mine de Tilt Cove comprend trois exploitations : mine Est, mine Ouest et Murray Hill. Les minerais sont à teneur de 3 ou 4 p. 100. Les gisements semblent toucher à leur épuisement et n'ont donné qu'environ 100.000 fr. de bénéfice en 1910-1911.

A la Rabbits' Arm, par exception, on a eu affaire à des bandes de quartz pyritisé, contenant parfois du cuivre gris argentifère. On peut également signaler la présence d'un peu de cuivre natif aux affleurements de Tilt Cove.

Ducktown[1] (Tennessee). — A Ducktown, des schistes cristallins très plissés (micaschistes, talcschistes, schistes amphiboliques ou pyroxénites, etc.), que l'on rattache au silurien, renferment des imprégnations pyriteuses à peu près verticales, qui présentent des types variables : imprégnations dans les micaschistes ; veinules ou bancs stratiformes ; lentilles atteignant 120 m. de puissance, mais contenant encore des esquilles schisteuses avec grenat et actinote, que pénètre la pyrite. A la surface, on a trouvé : un chapeau de fer ayant au plus une vingtaine de mètres ; puis, sur 1 à 2 m. une zone de cémentation avec chalcosine dominante, érubescite, chalcopyrite, cuprite, malachite, azurite, cuivre natif et, au-dessous, le minerai normal de pyrrhotine avec marcassite subordonnée, un peu de chalcopyrite, de blende, de galène et du quartz. La teneur est encore, dit-on, de 5 à 7 p. 100 de cuivre. La prédominance de la pyrrhotine est ici à noter, comme à Bodenmais et à Graslitz[2]. Depuis 1850, cette mine a produit 14 500 t. de cuivre.

d) AFRIQUE AUSTRALE

Namaqualand anglais (Ookiep, etc.), Damaraland[3]. — L'Afrique du Sud présente de nombreux gisements pyriteux à type d'intrusion profonde

[1] 1867. Credner. *Die Kupfererzlag. von Ducktown* (B. u. H. Z., p. 8-10). — 1886, Wendt. *The pyr. dep. of the Alleghanies* (Sch. of mines quart., t. 7). — 1896. C. Henrich. *The Ducktown ore dep...* (Tr. Am. I. M. I., t. 25, p. 173-245). — 1901. Kemp. *The Dep. of Copper ores at Ducktown. Tenn.* (Tr. Am. I. M. E., fév.). — Coll. Ec. d. M., 1559.

[2] Nous avons discuté la question de la pyrrhotine au tome 1, page 100.

[3] 1855. Delesse. *Sur les mines de cuivre du cap de Bonne-Espérance* (Ann. des Mines, 5e série, t. 8, p. 186 à 212 et pl. II). — 1860. Carl Zerrenner. *Reise des Ingenieurs A. Thies nach den Kupfer Bergwerken Namaqualands in Süd. Africa* (Berg und Hüttenm. Zeitung., p. 41 à 44 et 53 à 54). — 1861. Knop. *Ueber die Kupfererz-Lagerstätten von Klein-Namaqualand und Damaraland; ein Beitrag zur Entwickelungs-Geschichte der Kupfererze* (N. J. f. Miner., p. 513 à 550). — L. De Launay. *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 133 à 136. — 1902. A. Schenk. (Vor. Z. D. geol. Ges., t. 4, p. 64). — 1904. G. Kuntz. *Kupfervork. in S. W. Afrika* (Z. f. pr. G., p. 199-202). — 1905. H. Ronaldson. *Notes on the Copper deposits of little Namaqualand* (Tr. geol. Soc. S. Afr., t. 8, p. 158-166). — 1907. O. Stutzer. *Magm. Aussch. von Bornit* (Z. f. pr. G., p. 371). — Coll. Ec. des M., 1959.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

comparables à ceux de Scandinavie, etc., qui ne semblent jamais atteindre les terrains du Karoo[1], même quand ceux-ci se présentent au voisinage et que l'on peut, par conséquent, rattacher à une métallisation ancienne connexe de plissements, par dessus lesquels ces dépôts de Karoo sont venus reposer en transgression horizontale. Ces pyrites prennent les formes diverses d'amas, de filons-couches, d'imprégnations diffuses et, parfois aussi, comme à Ookiep, semblent directement ségrégées par des roches basiques. On y trouve, tantôt du cuivre, tantôt de l'or. Le principal groupe de ce genre est celui du Namaqualand ; mais nous en citerons brièvement quelques autres dans le Damaraland allemand.

Les minerais de cuivre du Namaqualand, signalés dès 1685, exploités depuis 1853, ont une production qu'expriment les chiffres suivants :

TARLEAU 46. — PRODUCTION DES MINES DE CUIVRE DU NAMAQUALAND

PRINCIPALES COMPAGNIES	1896	1900	1910
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Cape Copper Cy (mines d'Ookiep et Nababeep)[2]	5 558	4 491	4 550
Namaqua Copper Cy	2 012	2 337	2 440
	7 570	6 828	6 990

De 1883 à 1904, Ookiep a fourni 534 000 t. de minerai à 20 p. 100 ; puis la teneur est tombée à 12 p. 100.

L'ensemble du pays est constitué de granite, norite et schistes cristallins métamorphiques, recouverts par des grès du Karoo. Les gîtes cuprifères, comme nous venons de le faire remarquer, pénètrent dans les premiers terrains sans atteindre le Karoo : ils se présentent, soit en fentes assez restreintes et pauvres dans le granite, soit surtout en veines interstratifiées, stockwerks et amas sulfurés dans les schistes. C'est cette dernière catégorie de gisements, qui a donné lieu aux exploitations fructueuses de la région d'*Ookiep* (Concordia, Spectakel, Tweefontein), etc.

D'une façon générale, ces gîtes comprennent du quartz avec chalcopyrite légèrement aurifère, et pyrite. Il s'y joint, dans les zones hautes, des minéraux d'altération de la pyrite cuivreuse (érubescite, cuivre gris, cuivre oxydulé). Ces minéraux de cémentation accompagnent des parties kaolinisées des roches encaissantes et se sont prolongés assez en profondeur pour prêter une grande richesse aux minerais.

On a observé, dans certains filons, la présence d'un peu de molybdénite, comme nous venons de le voir à Kopperstrand, Bodenmais, etc.

Les gîtes du Namaqualand présentent, à la surface, un épais chapeau de fer oxydé ; ils sont parfois recoupés par une pegmatite plus récente

[1] Voir, pour ces terrains du Karoo, t. 1, p. 100.

[2] La production de la Cape Copper vient, pour 55 p. 100, de Nababeep (minerais à 5,5 p. 100) et pour 20 p. 100 d'Ookiep qui est actuellement presque épuisé. Nababeep North a produit, en outre, 291 t. de cuivre en 1911 et Narrap 250 t. La compagnie possède deux fonderies en Afrique australe, à Ookiep et Nababeep. Elle est, en outre, intéressée dans la mine de Tiltcove à Terre-Neuve et celle de Rajdha aux Indes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

(Weal-Julia), ainsi qu'on l'observe pour tous les amas de minerai de fer du terrain primitif et pour nombre de gisements sulfurés en Scandinavie, avec lesquels ceux-ci offrent bien des traits communs.

Les gisements d'*Ookiep* sont décrits comme des ségrégations dans une norite à biotite et hornblende formant des sortes de noyaux le long des dislocations linéaires. Le principal amas à Ookiep a 330 m. sur 70 m. de section horizontale et 100 m. de profondeur.

Il est formé essentiellement de chalcopyrite, avec un peu d'érubescite et des produits d'oxydation ou d'altération superficiels ; cependant, les oxydes noirs et rouges se prolongent assez profondément, tandis que carbonates et silicates cessent vite quand on s'enfonce. On y observe des veines à minerai plus cuprifère qui pénètrent parfois dans la roche encaissante. On constate, en outre, dans l'hyperthène fraîche, des inclusions de chalcopyrite et d'érubescite qui accusent le caractère de ségrégation.

Les minerais à haute teneur (12 à 20 p. 100) sont grillés et fondus sur place pour obtenir une matte à 50 p. 100 de cuivre, qu'on expédie à Swansea.

La mine de *Tweefontain* contient un mélange de magnétite et de chalcopyrite, analogue à celui qui existe dans certains gisements classiques, comme celui de Traverselle. On sépare les deux substances par des séparateurs magnétiques. La production annuelle était, il y a quelques années, d'environ 4 500 t. de minerais triés, tenant 28 à 30 p. 100 de cuivre et 4 500 de minerais plus fins, à 27 p. 100 de cuivre.

Dans le *protectorat Sud-Ouest africain allemand*, que l'on appelait autrefois Damaraland[1], on a, d'après Voit, des exemples nombreux de zones pyritisées formant fahlbandes dans la série des schistes cristallins et gneiss. Ces zones interstratifiées prennent parfois l'allure de bancs ou lentilles et se diffusent ailleurs sans limite nette. Elles semblent suivre souvent des bancs de quartzites.

Leur minéralisation est assez variable. A *Gorap* (Gorup) on a en profondeur de la chalcopyrite avec traces d'or et d'argent (3 gr. d'or et 150 gr. d'argent par tonne), passant à la surface aux formes oxydées ordinaires : limonite, cuprite, azurite, malachite, chrysocolle, cuivre natif, volborthite, etc.

Les mines *Matchless*, près Windhœk (à peu près à la même altitude que Walfisch bay), ont été exploitées sans succès, vers 1850, par la Walfisch bay Copper Minnig. Ce sont des filons-couches ou amas, dans les schistes cristallins, allant se perdre en veinules dans le granite.

L'imprégnation de profondeur est formée de pyrite, chalcopyrite et mispickel avec un peu de barytine, donnant quelques masses compactes.

A *Otyosonyati*, des sortes de fahlbandes encaissées dans les gneiss produisent, comme à Kongsberg, un enrichissement en métaux précieux sur des filons de quartz cuprifères qui les traversent. Ces filons, larges de

[1] 1904. W. Voit. *Beitr. zur Geologie der Kupfererzgebiete in Deutsch. Süd-West-Afrika* (J. K. pr. geol. Landesanst., t. 25, p. 416, avec cartes et coupes). — 1908. Schmeisser. *Die nutzb. Bodenschätze und die Entwicklung des Bergbaues in den deutschen Schutzgebieten* (Breslau).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

0,20 à 2 m., contiennent parfois, avec le quartz, du feldspath qui les fait passer à des pegmatites.

e) INDES (SINGHBHUM, DARJEELING, etc.)

Nous retrouvons aux Indes quelques exemples de ces intrusions profondes à type interstratifié dans les terrains à faciès archéen.

Chota Nagpur (Singhbhum)[1]. — Dans le *Chota Nagpur*, au Bengale, la région aurifère de Manbhum et Singhbhum contient, en même temps que de la pyrite aurifère, des indices nombreux de chalcopyrite et de galène dans les conditions ordinaires d'imprégnation suivant certains bancs schisteux.

Une zone cuprifère au Nord de *Singhbhum*[1], vers Kharsawan et à l'Est dans Dhalbhum, a été étudiée à diverses reprises, au milieu des terrains de Dharwar qui contiennent aussi de l'or. Elle est, sur 140 km. de long, souvent marquée par de vieux travaux et a été décrite comme affectant un horizon assez uniforme à la base de cette série schisteuse ; mais son caractère intrusif est marqué par des filons, que l'on a mal expliqués en leur attribuant une origine secondaire. D'autre part, on voit à Kharsawan, les veines cuivreuses analogues se reproduire dans les roches à type franchement gneissique, où l'on a été également obligé d'invoquer une remise en mouvement.

On a exploité dans cette zone, à Landu, un veine relativement riche qui a disparu à 63 m. de profondeur.

Darjeeling (Komaï)[2]. — Des conditions analogues se retrouvent plus au Nord, dans le *Darjeeling*. Sur le flanc Sud de l'Himalaya, dans la région Est, on sait qu'il reparaît, au Nord de la faille des Siwalik, un certain nombre de massifs archéens, dont le principal est celui du Sikhim ou de Darjeeling. Dans le Darjeeling, on observe une série de schistes tendres, gris verdâtres, très disloqués et contournés, mais affectant une direction générale Nord-Est, que l'on rattache à une série archéenne, autrefois considérée comme antérieure aux gneiss, parce que ceux-ci ont été renversés au-dessus. Dans ces schistes on observe d'assez nombreuses veines de chalcopyrite, généralement sans aucune valeur, mais parmi lesquelles s'est développée une bande un peu plus épaisse de 0,60 à 1 m., sur la rive gauche de la rivière Muriw. Ces veines se présentent là dans les conditions ordinaires des lentilles pyriteuses intercalées au milieu des schistes primitifs, qui ailleurs peuvent être assez riches en or pour être exploitées.

[1] 1854. RICKETTS. H. *On the copper mines of Dhalbhum and Singhbhum* (Journ. As. Soc. Beng., t. 23, p. 396-398). — 1857. DURRSCHMIDT, C. *Report on the copper mines of Singbhoom, S.-W. Frontier of Bengal*, 8°, Calcutta. — 1864. STOEHR, E. *Das Kupfererz-Vorkommen in Singhbum, Provinz der Südwestgrenze von Bengalen* (Neu. Jahrb. Min. Geol., p. 129-159). — 1869. BALL, V. *On the ancient Copper Mines of Singhbhum* (Proc. As. Soc. Beng., p. 170-175). — 1870. STOEHR, E. *The copper deposits of Dalbhum and Singbhum* (Rec. India, t. 3, p. 86-92). — 1881. BALL. *Economic geology of India*, p. 246. — 1894. Z. f. p. G., p. 74-246.

[2] 1882. MALLET, F.-R. *On a copper mine near Yongri Hil, Darjiling, Arsenical pyrites from the same neighbourhood and Kaolin from Darjiling* (Rec. Geol. Surv. Ind., t. 15, p. 56-58). — 1904. H.-H. HAYDEN. *On a deposit of Copper ore near Komai, Darjeeling District* (Rec. India, t. 31, p. 1-5).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ici la chalcopyrite est accompagnée d'un peu de quartz et on y a observé des traces d'or. Ce ne sont ni des filons proprement dits, ni des sédiments, mais des intrusions profondes.

2° AMAS PYRITEUX DES ZONES HERCYNIENNES
(Région d'Huelva, Zchmöllnitz, Agordo, Mount-Lyell. etc.)[1].

Généralités sur la région d'Huelva[2]. — La province d'Huelva, en Espagne, et la partie contiguë du Portugal renferment des gisements de pyrite de fer cuivreuse, exploités depuis la plus haute antiquité, repris avec activité depuis un demi-siècle et qui produisent annuellement 45 à 60 000 t. de cuivre ; soit environ 1/15 de la production de cuivre du monde (le 1/6 il y a quelques années).

Ces gisements se présentent (fig. 305) dans une longue bande métallifère Est-Ouest, allant de San-Domingos à Séville, longue de 130 km. et large d'environ 20 km. : bande qui comprend, à la fois, des terrains classés autrefois dans le silurien, dont une partie doit être rajeunie et d'autres certainement dinantiens. Leur alignement est parallèle à la grande direction de plissement des terrains du Sud de l'Espagne et offre, en même temps que les amas de pyrite, une série de pointements de roches éruptives, diabases, micro-granulites, allongés dans le même sens qu'eux et très vraisemblablement en relation avec eux.

Géologie de la région. — Le silurien (étage bohémien), qui affleure de San-Domingos jusqu'aux environs de Tharsis, a pour coupe, d'après Gonzalo-y-Tarin :

1° Ampélites avec graptolites ;
2° Schistes plus ou moins feuilletés avec grauwackes ;
3° Phyllades argileux souvent micacés, avec ou sans néréites.

La mine de San-Domingos est dans les schistes à néréites. Au-dessus, le dinantien est formé de schistes argileux olivâtres à feuillets plus ou moins épais, alternant avec des grauwackes. Il a, au voisinage des gisements métallifères, subi un métamorphisme très prononcé, sur lequel nous insisterons bientôt. A Rio-Tinto, on y a trouvé des fossiles.

Un plissement postérieur au dinantien (système hercynien) a été, dans

[1] Il pourrait y avoir lieu de décrire à ce propos le gîte du Rammelsberg. On en trouvera l'étude dans le chapitre concernant les minerais complexes plombo-zincifères du Harz, dont nous n'avons pas cru devoir le séparer.

[2] Gisements visités en 1888. — Coll. Ec. d. M., 1634 et 1653. — Nous renvoyons, pour les détails sur ces gisements et la bibliographie ancienne, à un mémoire que nous avons fait paraître en 1889, dans les *Annales des Mines*. — Voir aussi : 1883. CUMENGE. *Notes sur Rio-Tinto* (Chaix). — 1883. PERNOLET. *Rapport sur les mines d'Aguas Tenidas*. — 1885. COLLINS. *On the geology of the Rio Tinto mines* (Geol. Soc., t. 55, p. 245). — 1887. DEUMIÉ. *Sur les gisements de pyrite cuivreuse de la province d'Huelva* (Ind. min.). — 1887-1891. GONZALO Y TARIN. *Descripción física, geologica y minera de la provincia de Huelva*, 3 vol. — 1899. VOGT. *Das Huelva-Kiesfeld in Südspanien...* (Z. f. pr. G., p. 241-254). — 1902. KLOCKMANN. *Ueber das Auftreten und die Entstehung der südspan. Kieslagerst.* (Z. f. pr. G., p. 113-115 et 1904, p. 73-86). — 1906. WETZIG. *Beiträge zur Kenntnis der Huelvaner Kieslagerst.* (Z. f. pr. G., p. 173-186). — 1906. PREISWERK. *Die Kieslagerst. von Azual collar* (Z. f. pr. G., p. 261-263). — 1907. TRUCHOT. *Les pyrites*. — Voir la statistique, p. 627.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

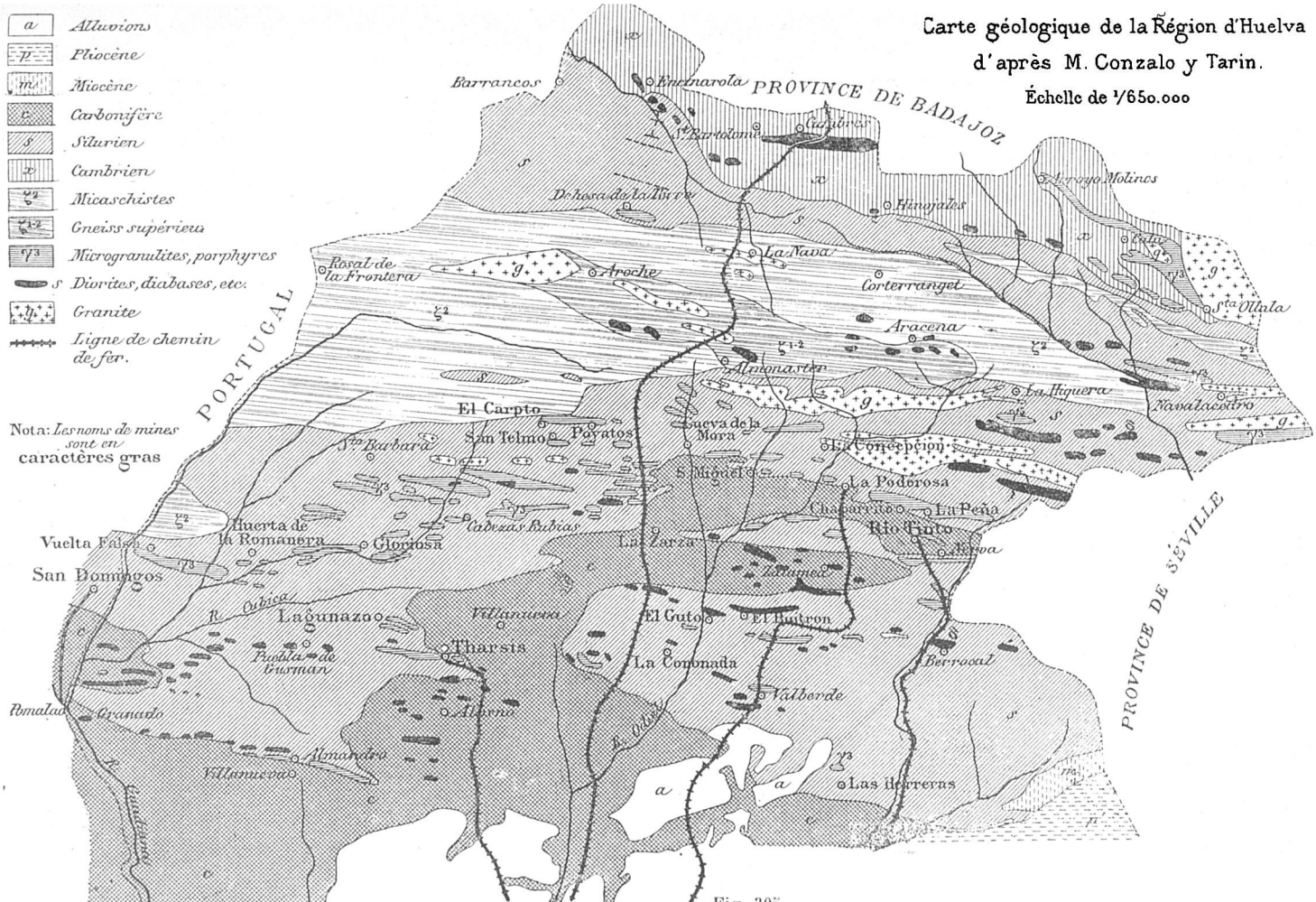


Fig. 305.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le Sud, recouvert par une transgression permo-triasique, à laquelle la métallisation est antérieure.

Les *roches éruptives* comprennent, dans la partie métallifère du pays, de très nombreux pointements de microgranulites passant au porphyre pétrosiliceux, de diabases à structure ophitique (par exemple, sur l'éponte Sud de l'amas de San-Domingos) et de porphyrites pyroxéniques. Ces roches sont antérieures aux minerais, qui les ont minéralisées après coup, mais semblent néanmoins appartenir à une même phase géologique. Certaines d'entre elles ont subi un laminage, qui leur a donné une apparence schisteuse et les a fait quelquefois décrire comme des tufs. Elles ont, en outre, été fortement altérées chimiquement par des réactions, dues en partie à la circulation des eaux au contact de tous ces minerais sulfurés. Des rejets nombreux ont certainement contribué à découper et à éparpiller les amas pyriteux comme les roches connexes.

Gisements. — Les principaux gisements sont, de l'Ouest à l'Est: dans une première zone Nord qui comprend elle-même deux ou trois traînées parallèles, San-Domingos, Louzal, Huerta de la Romanera, Gloriosa, El Carpio, San-Telmo, La Zarza, Cueva de la Mora, Aguas-Tenidas, San-Miguel, la Concepçion, la Poderosa, Chaparita, la Pena, Rio-Tinto, El Castillo de las Guardias au N.W. de Séville, et, sur une bande un peu plus au Sud: Lagunazo, Cabezas del Pasto, Tharsis, El Guto, la Coronada, Azarosa, Menacillo, Buitron, las Herrerias.

En outre, plus à l'Ouest, cette zone se prolonge en Portugal par les amas de la Caveira (Province d'Alemtéjo); à l'Est, on retrouve, dans sa direction, les exploitations de Cerro Muriano (Province de Cordoue) et de Barrancanès près de Séville. Les mines les plus importantes, dont nous avons donné la production[1], sont Rio-Tinto, Tharsis, San-Domingos, Aguas Tenidas, etc.

Conformément à une remarque générale faite en commençant l'étude de tous ces amas pyriteux[2], les principaux d'entre eux se présentent dans les schistes en amas ellipsoïdaux allongés, généralement parallèles à la direction des feuillets de schiste (qui est aussi celle des filons de porphyre), quelquefois légèrement obliques sur elle.

Leur épaisseur, toute différente de ce que nous avons trouvé en Norvège, atteint parfois plusieurs centaines de mètres.

Certains d'entre eux affectent cependant un allongement si marqué par rapport à leur largeur qu'ils ressemblent à de véritables filons (Aguas Tenidas); ailleurs on en voit passer à des imprégnations diffuses, comme celles de Scandinavie.

D'autre part, beaucoup d'amas sont, ou accolés à des roches éruptives, ou même intercalés dans celles-ci : filon Nord de Rio-Tinto entre deux microgranulites quartzifères; amas de San-Domingos accolé à une diabase ophitique; Castillo de las Guardas contre une microgranulite; San-Miguel dans une roche du même genre, etc. Gonzalo y Tarin signale même, dans une roche augitique près de la station de la Nava, une masse de pyrite et magnétite qui nous ramènerait au type Traverselle. Toutes

[1] Page 627.

[2] Page 96 à 104.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ces roches, associées aux gisements pyriteux, sont bien, quoi qu'on en ait dit, des roches intrusives, non des produits d'épanchement superficiel et il est très vraisemblable que les trois phénomènes ; 1° de plissement des terrains encaissants, silurien et carbonifère ; 2° d'intrusion porphyrique ; 3° de formation métallifère, sont en relation les uns avec les autres et représentent les trois phases successives d'une même action d'âge hercynien.

Nous reproduisons une partie d'un tableau précédent[1] qui met en évidence les dimensions des gisements.

TABLEAU 47. — GISEMENTS PYRITEUX DE LA PROVINCE D'HUELVA

GISEMENTS de la Région d'Huelva	LONGUEUR mètres.	ÉPAISSEUR maxima. mètres.	ÉPAISSEUR moyenne. mètres.	SECTION superficielle. mètres carrés	PROFONDEUR ATTEINTE en 1896. mètres.
Rio Tinto { Dionisio . . .	1 000	150	60-70	60-70 000	375
Rio Tinto { Filon du Sud .	1 110	180	40-60	50 000	300
Rio Tinto { Filon du Nord.	300	100	80	25 000	150
San Domingos	400	75	30-50	15 000	150
Aguas Tenidas	150	75	50	7 000	150

Au total, il peut y avoir, dans la province, une section minéralisée de 500 000 m², ayant représenté un cube d'au moins un milliard de t. avant l'érosion et 250 à 400 MT. tels que les gisements sont restés.

Composition des minerais. — Certaines de ces pyrites ne renferment pas du tout de cuivre et sont exploitées uniquement comme minerais de soufre. Ailleurs, la teneur, en cuivre, devenue utilisable, oscille entre 1 et 3 p. 100. D'une façon générale, on ne constate nulle part l'association du nickel. Les traces de métaux précieux sont très faibles : 25 à 30 gr. d'argent à la t. et 800 mgr. d'or à Rio Tinto. Le plomb et le zinc atteignent rarement 1 p. 100. Exceptionnellement, on a signalé un peu de bismuth à Rio-Tinto (0,37 p. 100).

Le manganèse est à l'état de traces. La teneur en arsenic, qui varie de 0,30 à 0,80 p. 100, déprécie un peu les pyrites Sud-Espagnoles par rapport aux pyrites norvégiennes. L'antimoine, au contraire, manque à peu près toujours.

En ce qui concerne le métal principal, il semble bien résulter de la plupart des observations une diminution progressive de la teneur en cuivre, quand on s'enfonce jusqu'à la profondeur de 300 à 400 m. qui constitue la limite ordinaire des gisements. A San-Domingos, on est descendu ainsi de 4 p. 100 à 1 p. 100 jusqu'à la profondeur de 140 m. Au filon Dionisio de Rio Tinto, la chute a été de 4 à 1,5 p. 100 jusqu'à 350 m. ; à Cabezas del Pasto de 3,5 à 2. Le changement est, pour la zone la plus haute, incontestablement dû aux actions superficielles dont nous allons parler et. même dans sa manifestation plus profonde, nous serions disposés à y

[1] Tableau 6, tome 1, p. 98.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

voir un résultat atténué du même phénomène plutôt qu'une condition du dépôt primaire[1].

Altération ultérieure.— Toute la région d'Huelva a subi une action continentale extrêmement intense, qui a pu commencer dès l'abrasion du pays avant la transgression triasique et qui s'est continuée jusqu'à nos jours. Dans un pays ainsi imprégné de sulfures de fer, il est évident que les eaux, devenues vitrioliques, ont dû exercer une action particulièrement énergique, dont toutes les roches portent la trace manifeste, ayant été fortement kaolinisées ou même réduites à un squelette quartzeux. Le premier effet de cette altération a été la production ordinaire des chapeaux de fer épais de 20 à 40 m., nettement limités à la base et au-dessous desquels on trouve une zone manifeste de cémentation cuprifère. Là, une grande partie du cuivre enlevée, soit aux portions détruites par l'érosion, soit à la zone transformée en limonite, est descendue le long du gisement en l'enrichissant. Ainsi se sont formées des incrustations secondaires, des fissures renfermant de la chalcopyrite, de l'érubescite, de la chalcosine, parfois même du cuivre natif, sur lesquelles ont porté les travaux antiques et que l'on a parfois envisagées à tort comme des filons postérieurs. Par l'effet des mêmes réactions, la masse même de la pyrite a pu localement passer d'abord à de la chalcopyrite, puis à du cuivre panaché que l'on retrouve dans l'ordre inverse en s'approfondissant. C'est en exploitant de telles zones que l'on a quelquefois constaté des teneurs de 5 à 10 p. 100, avec un enrichissement correspondant en métaux précieux.

Nous allons maintenant passer en revue les principaux gisements :

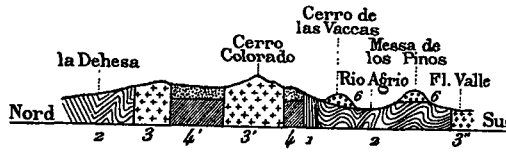


Fig. 306. — Coupe schématique Nord-Sud, à Rio-Tinto.
1, phyllades lustrés. — 2, schistes et phyllades argileux fossilifères. — 3, 3', 3'', porphyres. — 4, 4', pyrite avec chapeau de fer. — 6, couche ferrugineuse tertiaire.

Rio-Tinto. — La coupe Nord-Sud du gîte de Rio-Tinto présente (fig. 306) : au Nord, des phyllades carbonifères 2 ; puis, en se dirigeant vers le Sud, un premier massif de porphyre 3 ; un premier amas de pyrite 4', dit filon du Nord ; un autre porphyre 3' ; le filon San-Dionisio prolongé à l'Est par le filon du Sud (grand amas exploité longtemps à ciel ouvert) ; des schistes carbonifères 2 ; enfin une dernier porphyre 3''. Une couche ferrugineuse de 3 à 4 m. d'épaisseur, due à la remise en mouvement des sels de fer, est indiquée sur la coupe au-dessus du Cerro de las Vaccas et de la Mesa de los Pinos ; elle est d'âge tertiaire.

Les roches que nous venons de désigner par le terme général de porphyres comprennent : en 3', des orthophyres ; en 3'', des roches diverses, porphyrite pyroxénite à l'Ouest, microgranulite plus à l'Est et diabase du côté de Naya.

Le premier gisement que l'on ait exploité est celui du Sud, qui commence, à l'Est, par un vaste amas de 550 m. sur 120 (fig. 307), puis s'étire sur 300

[1] Voir, à ce sujet, les observations générales, t. 1, p. 101 et 166.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

m., subit une interruption de 250 m. et recommence encore, pendant 1 km., en zone un peu plus mince ne dépassant pas 100 m. de large.

Les coupes de la fig. 307 montrent comment le grand amas de l'Est se coince à 100 m. de profondeur, tandis que les zones amincies de l'Ouest se continuent tout en se rétrécissant au moins pendant 400 m.

Cet amas de l'Est est une masse confuse exclusivement composée de pyrite avec un peu de quartz, sans schiste intercalé, qui n'offre en général ni direction de cristallisation, ni signes de concrétion sur les épontes. Elle est formée de pyrite de fer à 2,5 p. 100 de teneur moyenne en cuivre[1], avec un peu de chalcopyrite, de blende, de galène, et traversée, comme nous l'avons dit, par des veines de chalcopyrite et érubescite résultant d'une sécrétion ultérieure.

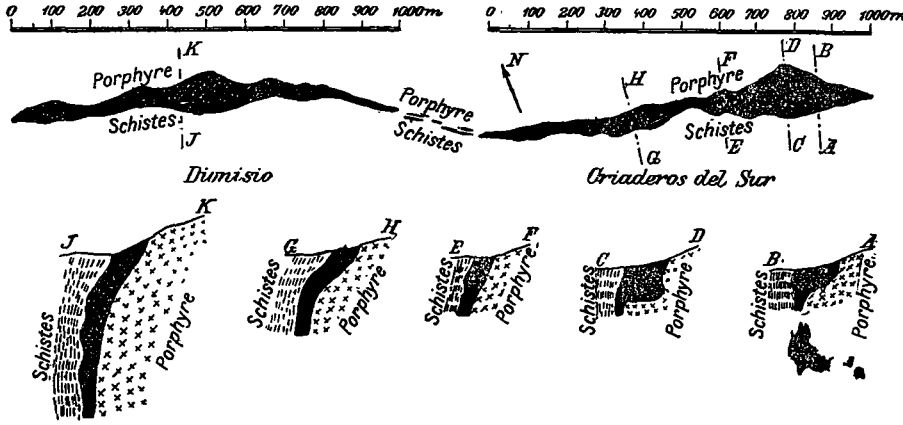


Fig. 307. — Plan et coupes théoriques du filon Dionisio et du filon du Sud, à Rio-Tinto, d'après Gonzalo y Tarin et Vogt.

Cet amas est enclavé entre des schistes carbonifères, métamorphisés et blanchis sur une faible épaisseur, au Sud, et un orthophyre souvent tout à fait méconnaissable (tant il est décomposé, pénétré de quartz et de pyrite), au Nord.

Le filon du Sud est exploité, depuis longtemps, à ciel ouvert. Au filon San-Dionisio, on organise également le découvert.

Le filon du Nord, exploité d'abord souterrainement, et, depuis 1892, à ciel ouvert, a une longueur reconnue de 2 km., une largeur de 150 m. Entre les filons du Nord et du Sud, toute la masse rocheuse, que l'on a traversée par une galerie de reconnaissance, est à peu près partout imprégnée de pyrite.

Tharsis. — Le gîte de Tharsis, à peu près épuisé[2], est composé de quatre

[1] Nous avons vu, p. 627, que la teneur moyenne était de 3 p. 100 en 1895, 2,3 en 1905, 1,6 en 1910.

[2] Outre ce gîte de Tharsis, qui produit aujourd'hui 10 000 t. contre 200 000 t. autrefois, la Société de Tharsis possède Lagunazo, également épuisé et Calanas. En 1902, avec 342 700 t. de minerais, la Société produisait 6 708 t. de cuivre. En 1907, 458 000 t. n'ont donné que 4 410 t. et, en 1911, 327 000 t. de minerai ont produit 3 393 t. de cuivre (soit environ 1 p. 100). L'exploitation se transforme ainsi en une exploitation de pyrite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

amas : le filon del Norte, exploité sur 600 m. de long et atteignant 140 m. de largeur maxima ; le Criadero della Sierra de 500 m. de long, 100 m. de largeur maxima, très aminci à son extrémité Ouest ; le filon del Medio et le Criadero del Sud (inexploité).

San-Domingos. — A San-Domingos(Portugal), l'exploitation porte sur un amas vertical de 500 m. de long et 60 m. de large, dirigé N. 110° E.

Sa constitution est la même que celle du gîte de Rio-Tinto ; mais la pyrite englobe des esquilles importantes de schistes restées au milieu du remplissage. Sur son éponte Nord, on trouve des schistes métamorphiques, avec une brèche de quartz cimentée par de la pyrite qui apparaît, seulement vers l'extrémité Ouest. Au Sud, il s'intercale, entre la pyrite et les schistes, une diabase ophitique contenant, dans quelques fissures, du cuivre natif et transformée en une argile blanche au contact de la pyrite. L'existence de la brèche quartzeuse de l'éponte Nord et surtout la présence, dans le corps de la pyrite, de grandes faces de glissement polies, ou miroirs, prouvent nettement que des mouvements mécaniques, postérieurs à la consolidation, ont continué ceux qui avaient provoqué la venue de la diabase et des métaux. On y a trouvé du cuivre natif et de l'anglésite accusant des actions d'altération superficielle.

Autres gisements Sud-Espagnols. — A *Lagunazo*, on a exploité à ciel ouvert, un amas de 15 m. sur 150 m., entre des schistes très altérés au Nord, intacts au Sud ; un nerf de schistes est intercalé dans la pyrite.

L'amas de *Confessionario* a 500 m. de long sur 100 de large. Il est à peu près vertical et situé entre les schistes anciens au Sud, le porphyre au Nord. Il présente cette particularité de ne pas contenir de cuivre ni d'arsenic, mais seulement de la pyrite de fer à 51 p. 100 de soufre. Il est accompagné, au Nord et au Sud, par des venues de pyrite à peu près parallèles, qui, elles, contiennent du cuivre et qu'on a cru pouvoir considérer comme un peu postérieures.

A la *Zarza*, on se contente d'exploiter des schistes imprégnés sans amas.

Ailleurs, on trouve une allure en filon plus ou moins mince : ainsi, à *Aguas Tenidas*, où les filons ont de 8 à 10 m. de puissance ; puis aux deux extrémités de la zone métallifère, à *Caveira* (Alemtejo) et près de *Séville*. A *San-Miguel*, on a exploité une veine d'une douzaine de mètres, inclinée à 70° dans les microgranulites.

Schmöllnitz ou Szomolnok (Haute-Hongrie). — Au milieu du district métallifère de Szepes et Gömör, les gisements pyriteux de Schmöllnitz sont encaissés dans des talcschistes, ou schistes graphiteux, d'âge dinantien, plissés et traversés par des porphyres quartzifères et diorites. Les conditions ne sont donc pas sans analogie avec celles des minerais hercyniens d'Huelva et récemment Böckh a admis, pour Schmöllnitz, une relation d'origine avec des roches basiques analogues à certains types

[1] 1867. G. Faller. *Der Kupferbergbau in Schmöllnitz* (B. u. H. J. d. KK. Œst. Berg-Ak., p. 193-197). — 1896. Steinhausz. *Der Kupfer und Schwefelkies-Bergbau von Schmöllnitz* (B. u. H. J. d. K. Oest. Berg-Ak., p. 267-320). — 1898. Fæhndrich. *Der Schwefel Kiesbergbau bei Schmöllnitz* (Z. f. d. B. u. H. im pr. St., p. 217-234). — 1905. Schafarzik. *Daten z. gen. Kennt. des Szepes-Gömörer Erzgeb.* (Ung. mat. u. Nat. Ber., t. 23). — 1905. Böckh. *Beitr. z. Gl. des Szepes-Gömörer Erzgeb.* (J. d. K. Ung. geol. Reich., p. 46-53).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pétrographiques du Sud de l'Espagne. On y trouve associés deux types de métallisation qui proviennent pour nous de la même imprégnation profonde. Sur une zone E.N.E. on a, d'abord, à l'Ouest, trois ou quatre fahlbandes parallèles, dites « Streichen », auxquelles s'associent à l'Est de véritables amas, allongés dans le même sens, qui représentent une concentration locale plus complète de la pyrite. Ces amas, dits Hangend, Liegend et Engelbert, se sont rapidement coincés a environ 100 ou 130 m. de profondeur, tandis que les streichen ont plus de persistance [1].

Le principal amas, celui du mur, a 420 m. sur 42 m. de section et atteint exceptionnellement 140 m. en un point. La métallisation est faite de pyrite zonée avec veinules d'érubescite et nids de chalcopyrite.

La teneur moyenne est de 0,5 p. 100 de cuivre dans la zone centrale et atteint 2 p. 100 sur les bords. Il y a des traces de bismuth, de nickel et manganèse, et 0,55 p. 100 d'arsenic. Des dislocations N. S., qui traversent le gîte, semblent avoir déterminé un enrichissement secondaire.

On a cru remarquer un développement de galène, blende et chalcopyrite aux points où l'amas se bifurque.

Cette mine, dont l'exploitation remonte au XIII[e] siècle, produit environ, par an, 90 000 t. de pyrite un peu cuivreuse.

Agordo (Venétie)[2]. — Bien que situé sur le flanc de la chaîne alpestre, ce gisement, par l'âge permien qu'on lui attribue, doit être placé à la suite des amas hercyniens, de même que nous avons rapproché des gisements intercalés dans les plates-formes primitives quelques formations à type archéen englobées dans les zones hercyniennes.

Le célèbre amas de pyrite de fer cuivreuse d'Agordo dans les Alpes de Vénétie, autrefois exploité avec activité vers 1850 et récemment repris par l'Union italienne des industries chimiques, apparaît dans les schistes argileux à séricite, entourés mécaniquement de dolomies triasiques que surmonte du lias. Il paraît plus ancien que ce trias, peut-être en rapport avec les mouvements carbonifères. Son volume a pu être d'environ 180 000 t.

On a comparé la forme extérieure du gîte à celle d'un saucisson renflé et aplati, dont le grand axe, très couché, plongeant de 20° vers le N.-E., représenterait la direction générale de l'amas, connu, suivant cette direction, sur une longueur de 254 m [3]. En profondeur, il se termine en coin vers 150 m. La puissance varie de 4 à 80 m. Ainsi qu'à Rio-Tinto, le minerai est un mélange à grain très fin de pyrite de fer, de pyrite de cuivre zonée et d'un peu de quartz. La teneur moyenne en cuivre n'est guère que de 1,70 p. 100. Comme éléments accessoires, on trouve de la galène argentifère, de la blende, du cuivre gris argentifère et du mispickel.

[1] Voir plan et coupes dans BEYSCHLAG, KRUSCH et VOGT, p. 330.

[2] 1846. HAIDINGER. *Analyse des minerais de cuivre d'Agordo* (B. S. G. F., 2[e], t. 4, p. 164). — 1855. HATON DE LA GOUPILLÈRE. *Mémoire sur Agordo* (Ann. d. M., 5[e], t. 8). — 1862. V. COTTA. *Agordo*. (B. u. H. Z., p. 425-427). — 1868. PELLATI. *Relaz. Ind. Miner.* (Stat. Regno Italia). Firenze. — 1879. MAZZUOLI. *Traitement des minerais par voie humide à Agordo* (Ann. d. M., 7[e], t. 9, p. 190). — 1883. D'ACHIARDI. *I minerali*, etc., t. 1, p. 331. — 1896. PRIWOZNIK. *Das Berg und Hüttenwerk in Agordo* (Arch. des Museums für Geschichte der Oester. Arbeit. Wien, A. Holder, 28 p.). — 1906. L. DE LAUNAY. *Métallogénie de l'Italie*, p. 24.

[3] Voir des coupes dans BEYSCHLAG, KRUSCH ET VOGT, p. 326.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

L'analogie avec Rio-Tinto, Sain-Bel, etc., se poursuit dans le détail. Les schistes, au contact, sont pénétrés de pyrite et altérés ; des esquilles de schiste subsistent dans le gîte ; de nombreuses faces de glissement polies, ou miroirs, traversent la pyrite, etc...

Dans la même région se trouvent les minerais de cuivre de Vodo et de Vallimperina.

L'exploitation, faite autrefois par l'Etat, ne portait que sur les minerais à 5 ou 6 p 100 de cuivre. En 1905, on a repris les minerais plus pauvres, autrefois négligés et l'on arrivé à produire environ 30 000 t. de pyrite à 1 p. 100 de cuivre, vendue aux fabricants d'acide sulfurique de la Haute Italie.

La mine de Vallimperina a produit, en 1908, 27 000 t. de pyrite cuivreuse.

Kallwang et Oeblarn (Haute Styrie)[1]. — Peut-être faut-il également placer ici quelques gîtes pyriteux du paléozoïque alpin de Styrie : Kallwang dans les schistes graphiteux dinantiens ; Oeblarn dans une zone de phyllites quartzeux avec schistes amphiboliques. Les lentilles, quoique grossièrement interstratifiées, lancent cependant des apophyses latérales. On y trouve de la pyrite, de la chalcopyrite, de la pyrrhotine, du mispickel et, accessoirement, un peu de galène, blende, cuivre gris.

Bukowine[2]. — A Fundul Moldowi et Pozoritta, une traînée de schistes à chlorite et séricite renferme une zone imprégnée de pyrite et chalcopyrite, qui présente quelques noyaux compacts de plus d'un mètre de puissance. L'attention a été attirée sur des points où la cémentation avait enrichi ces pyrites en cuivre ; mais l'enrichissement a rapidement cessé en profondeur.

Soimonovsk et Pychminsk (Oural)[3]. — Le gisement de Soimonovsk, situé près de Kychtim dans l'Oural, présente des zones pyritisées le long d'une surface de dislocation dans des talcschistes chloriteux et des serpentines. On peut y distinguer de véritables filons, comme le filon Koniuchoff, large de 3 m. au maximun, le filon Smirnoff et le filon du mont Karabasch au S. E., qui atteint 5 m. La minéralisation profonde est formée de pyrite à 4 p. 100 de cuivre avec 28 gr. d'argent et 2 gr. d'or; mais son intérêt pratique vient de l'altération superficielle, qui a donné d'abord un chapeau de limonite avec des veinules à 60 gr. d'or, puis, au-dessous, une zone de cémentation barytique à 150 gr. d'argent et 28 gr. d'or.

A *Pychminsk* (14 km. N. d'Iékaterinenbourg), dans l'Oural, une zone de schistes chloriteux à magnétite, intercalée au milieu de diorites, est, par endroits, fortement imprégnée de pyrite cuivreuse avec un peu d'or.

Mount Lyell (Tasmanie)[4]. — A Mount Lyell, sur la côte Ouest de Tasmanie, des gisements pyriteux, en rapport avec des lignes de dislocation,

[1] 1903-1905. Redlich. *Die Walchen bei Oeblarn* (Bergbaue Steiermarks, t. 2. Leoben, avec bibl.) et *Cont. à la conn. des gîtes métall. des Alpes Orientales.* Congrès de Liège.

[2] 1876. Walter. *Die Erzlagerst. der südl. Bukowina* (J. K. K. geol. Reichs., t. 26, p. 313-426). — 1906. Redlich. *Der Kiesbergbau Louisenthal* (*Fundul Moldowi*) (Oest. Z. f. B. u. H., n° 23).

[3] Beck. t. 2, p. 115.

[4] 1893. E.-D. Peters. *Rep. on the prop. of the Mt. Lyell min. Cy Melbourne.* — 1900. Daly. *The Mt Lyell Copper dep.* (I. Min. Met. Lond., 28 p.). — 1900. E. Haber. *Die geschw. Erzvork. an der Westküste v. Tasmania* (Z. f. d. B. H. u. S. W. i pr. St., t. 8, p. 432-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sont encaissés dans des terrains, probablement siluriens, qui ressemblent à des talcschistes chloriteux et qui sont, d'après Grégory, des porphyrites dynamo-métamorphisées. On y trouve des fahlbandes pyritisées, inutilisables à elles seules, mais employées comme fondant, qui renferment 1,64 p. 100 de cuivre et des lentilles qui font l'objet de l'exploitation.

C'est sur ces lentilles que travaillent une vingtaine de compagnies, dont la plus importante est la Mount Lyell Min. and Railway C^y.

Le principal amas, appartenant à cette compagnie, amas long de 240 m., large de 60 m., est formé de pyrite massive aurifère et argentifère, avec un peu de blende, de galène et de barytine. Quelques parties zonées représentent, comme dans tous les gisements de ce genre, les anciens schistes auxquels la pyrite s'est substituée.

On a estimé son cube total à 4 MT., tenant en moyenne 2,35 p. 100 de cuivre, avec 85 gr. d'argent et 3 gr. d'or. La teneur en métaux précieux a, suivant la règle ordinaire, diminué avec la profondeur.

Les phénomènes d'altération, auxquels nous attribuons cette variation, se sont clairement manifestés dans une bonanza aurifère, découverte en 1894 immédiatement sous le chapeau de fer, aurifère lui-même. Il s'y était développé des veinules, nids, etc. de chalcopyrite et érubescite, parfois avec barytine et des géodes remplies d'une ocre ferrugineuse à plus de 3 p. 100 d'argent.

En 1905, on a extrait 8 300 t. de cuivre.

Un autre grand amas de la même région est celui de North Mount Lyell, ayant seulement 40 m. sur 20 m. de section, mais tenant 6 p. 100 de cuivre.

3° LENTILLES ET IMPRÉGNATIONS PYRITEUSES DES ZONES TERTIAIRES

Comté de Shasta (Californie)[1]. — Cette région présente un certain nombre de gisements pyriteux en rapport avec des diorites, porphyres quartzifères, etc. Le groupe de l'Ouest comprend (Potter Creek, etc.) des amas de pyrite, pyrrhotine et magnétite au contact de diabases et de calcaires qui rappellent le type Banat et (Iron Mountain) des lentilles de pyrite cuivreuse accolées à des porphyres quartzifères, que l'on peut comparer à Rio-Tinto. L'amas de Iron Mountain a 120 m. sur 240 et a été suivi en profondeur jusqu'à 180 m. En 1900, on en a extrait 16 000 t. de pyrite à 6 p. 100 de cuivre avec 60 gr. d'argent et 1,5 gr. d'or.

Campo Morado (Guerrero)[2]. — Parmi les gisements métallifères de l'État de Guerrero, au Mexique, qui, jusqu'à nouvel ordre, sont rendus inexploitables par les difficultés d'accès, on cite, pour ses dimensions considérables, l'amas pyriteux de la Réforme à Campo Morado, situé par 10°20′ de latitude Nord et 1°15′ de longitude Ouest de Mexico. Cet amas, qui a été recoupé par un certain nombre de tunnels, s'encaisse à peu près verticale-

459).— 1905. Gregory. *The Mt. Lyell. min. Field*, 168 p., 2 pl. (Aust. I. M. E. Melbourne). — 1907. Robert, C. Stight. *Mining and Smelting at Mount Lyell, Tasmania* (Mineral ind., p. 385 à 442, avec cartes et vues).

[1] 1902. E. Aubury. *The Copper Resources of California* (Calif. St. Min. Bur. Bull., 23).

[2] 1907. Hijar y Haro. *Sobre los yacimentos minerales de Campo Morado* (Guerrero) (Mém. Soc. Alzate., t. 25, p. 245-252).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ment entre des schistes noirs au mur et des conglomérats de diorite, eux-mêmes associés à de la diorite massive, au toit. Son caractère paraît plus nettement filonien que celui des gîtes précédents.

On a reconnu son existence sur environ 250 m. de haut. Cette pyrite est estimée contenir 2 p. 100 de cuivre, autant de plomb, avec une teneur sensible en or et en argent. Les travaux ont eu seulement pour but, jusqu'ici, de rechercher certains minerais d'altération, formés d'oxydes de fer auro-argentifères, qui contiennent de l'or et de l'argent pour une valeur à peu près égale, avec 10 à 20 p. 100 de plomb en carbonates et sulfates et 2 p. 100 de baryte.

Besshi (Japon)[1]. — A Besshi, dans l'île de Sikok (Shikoku), on a, au contraire, au milieu des schistes cristallins, une grosse lentille de pyrites avec magnétite et quartz, analogue à celles que nous avons rencontrées sur les zones ramenées en profondeur de la Norvège, du Canada, de l'Afrique méridionale, des Alpes, etc.

Cette importante mine de cuivre de Besshi a été découverte en 1690 et a atteint une production de 1 500 t. en cuivre affiné, en 1698. La production actuelle (1909) est de 5 250 t., après avoir été de 9 500 t. en 1904. L'amas pyriteux de Besshi à 4 ou 5 p. 100 de cuivre, rappelle, par l'ensemble de ses caractères, les amas intrusifs de zones profondes métamorphisées. On y observe particulièrement l'association de la magnétite à la chalcopyrite, comme dans les gîtes précédents d'Atvidaberg, Bersbo, Sjangeli, Orijärvi, Tweefontein, Bodenmais, etc., et comme dans le groupe de Traverselle.

Makiminé, Hibira, Sawatari, dans l'île de Kiou-Siou, renferment aussi des lentilles pyriteuses à 4 p. 100 de cuivre, formant filons-couches dans des schistes paléozoïques. L'âge de ces divers gisements n'est pas connu.

IV. — GITES FILONIENS EN RAPPORT DIRECT AVEC DES ROCHES ÉRUPTIVES NEUTRES OU ACIDES

(SERBIE, BULGARIE, ALGÉRIE, CAUCASE, YUNNAN, JAPON, MONTANA)

Observations générales. — Un très grand nombre de gisements de cuivre filoniens sont en rapport intime avec des roches éruptives acides ou neutres à types plus ou moins profonds. Parmi ces gisements nous mettrons à part ceux qui, encaissés dans des calcaires au contact de roches généralement grenues, ont, pour éléments caractéristiques, une association de magnétite et de sulfures dans une gangue silicatée type Traverselle (§ V) ; nous ferons également une catégorie spéciale pour les filons associés à des roches acides, dans lesquelles apparaissent l'étain, le molybdène, etc. (§ VI), et nous examinerons seulement ici les autres cas qui, pour la plupart, dérivent de roches intrusives ou effusives microlithiques, en suivant dans la description un ordre géographique[2].

[1] 1909. *Mining in Japan, Past and present*, p. 220 à 229.

[2] Quelques inclusions amygdaloïdes dans les diabases et les porphyrites, décrites au § 1, page 642, présentent un lien intime avec les gisements examinés ici.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ces gisements sont particulièrement développés dans les principales régions éruptives tertiaires, comme l'Ouest Américain, le Japon, l'Arménie, l'Algérie, etc., et y constituent souvent des filons d'une grande importance industrielle. Dans bien des cas, leur remplissage est tout à fait complexe et nous y trouverons le cuivre associé avec les autres métaux sulfurés, plomb, zinc ou fer, comme au groupe VII examiné plus loin. Mais, parfois aussi, la pyrite de fer cuivreuse y domine presque exclusivement.

Tout naturellement on peut s'attendre à les rencontrer dans les mêmes districts où nous aurons à étudier plus loin les minerais du type Banat et Traverselle : minerais également reliés à des roches de même origine, mais généralement plus profondes, et seulement différenciés du cas examiné ici par la nature calcaire du terrain encaissant. La distinction entre les deux groupes sera donc souvent quelque peu arbitraire.

En moyenne, il est à remarquer que, pour ces gisements associés avec des roches éruptives, il paraît y avoir eu plusieurs phases de minéralisation échelonnées dans le temps et dont les plus filoniennes semblent toujours assez sensiblement postérieures à la consolidation de ces roches. On a donc pu supposer qu'au moment où la roche se consolidait, il se faisait en profondeur une sorte de liquation produisant quelque chose comme une liqueur mère, dans laquelle se concentraient, avec certains métaux, des métalloïdes, dits minéralisateurs, et que ceux-ci, à l'état de vapeurs susceptibles de se condenser, avaient pénétré dans des fissures que la continuité du mouvement tendait à ouvrir, soit dans la roche même déjà consolidée, soit dans les terrains immédiatement voisins. Progressivement, la température diminuant, la forme volatile a dû, par un effet de condensation, passer de plus en plus à une forme hydrothermale et les minerais ont dû alors se déposer dans les filons proprement dits, en pénétrant à des distances croissantes de la roche originelle.

1° EUROPE

En Europe, nous avons quelques cas de ce genre dans la région des roches post-secondaires de la Transylvanie, de la Serbie, de la Bulgarie.

Transylvanie (Rezbanya, Offenbanya, etc.). — Les gîtes de *Rezbanya* ont été décrits par Poszepny, comme des fractures de contact remplies par les émanations métallifères le long des roches andésitiques. La liste des minerais qu'on y a trouvés est extrêmement complexe : chalcopyrite aurifère, bismuthine, blende, galène, wulfénite, crocoïse, avec des produits d'altération, cuivre natif, cérusite, anglésite, etc.

A *Offenbanya*, certains minerais sont au contact d'andésites amphiboliques et de dacites, dans des calcaires grenus et se rattachent par là au type Banat. D'autres forment des filons dans la dacite et se dispersent dans une brèche qui suit celle-ci. On considère surtout ces gisements comme aurifères[1] et les tellurures de métaux précieux y sont fréquents; mais la tétraédrite et le cuivre gris apparaissent aussi dans un remplissage de sulfures complexes.

[1] Voir au tome 3, le chapitre de l'or.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ailleurs, comme à *Rodna*, le cuivre peut manquer dans un remplissage sulfuré complexe situé sur un contact analogue.

Serbie (Maidanpek, Bor). — Il existe aujourd'hui deux mines de cuivre dans l'Est de la Serbie, à environ 130 km. S. E. de Belgrade, à Maidanpek et à Bor, où s'accuse également la relation immédiate du cuivre avec des andésites.

Le gisement de *Maidanpek*, exploité par une compagnie belge, est très anciennement connu comme gisement de contact et nous l'avons déjà signalé [1] comme représentant, avec des variantes, le prolongement méridional du type développé dans le Banat. Il est en relation avec des andésites, des dacites et des porphyres microgranitiques, qui recoupent le secondaire.

On trouve surtout le minerai entre les andésites et les sédiments, calcaires ou micaschistes ; mais il existe aussi des veines dans l'andésite.

La chalcopyrite à gangue quartzeuse est le minerai dominant, avec érubescite et covellite accessoires. On connaît aussi des masses de pyrite avec magnétite et chalcopyrite, tenant 0,3 à 1,5 p. 100 de cuivre, qui sont traitées par grillage pour acide sulfurique.

Bor [2] est à 40 km. plus au Sud sur un plateau volcanique d'andésites, situé à 500 m. d'altitude au milieu de collines en calcaire crétacé. Les gisements, exploités par une compagnie française, sont de larges fissures, pouvant avoir 15 à 30 m. à travers les andésites et les tufs ou brèches volcaniques. On les trouve souvent entre l'andésite solide et sa forme altérée, la propylite et leur relation d'origine avec cette propylite est bien probable. Les travaux portent sur les communes de Bor, Krivelj et Ostrelj. A Bor et Krivelj, on a de la pyrite et de la chalcopyrite, avec de la covellite, de la chalcosine, du cuivre gris arsenical (enargite), un peu de galène et de blende. La veine de Krivelj, large de 12 m., donne des minerais à 5,5 p. 100. Superficiellement, les gisements s'annoncent par un chapeau de fer oxydé.

Bulgarie (Bourgas) [3]. — La région de Bourgas en Bulgarie, sur la mer Noire, contient de très nombreux gisements de cuivre sous forme de fractures filoniennes, encaissées dans des andésites amphiboliques, dont leur remplissage dérive manifestement.

Les gisements que nous avons visités dans cette région sont ceux de la montagne Karatépé au S. E. de la ville. Leur prolongement à l'Est, de l'autre côté de la baie de Bourgas, vers Sozopolis, a été reconnu depuis.

Au milieu d'une andésite amphibolique épidotisée d'âge tertiaire, des fractures bréchiformes, larges de 0,20 m. à 0,40, sont remplies par de la

[1] Tome 2, pages 339, 341 et 343.

[2] 1855. Boué: *Sur les mines de cuivre de Maidan-Pek* (B. S. G. F., 2e, t. 13, p. 63). — 1904. Antoula. *Les gisements de cuivre dans les environs de Bor et de Krivelj* (Rev. des mines et de l'Ind. min. Belgrade). — 1907. Iovanovitch. *Or et cuivre en Serbie orientale*, Paris. — 1907. Walter, Harvey Weed. (Min. Ind., p. 324 à 326). — 1908. Cornu et Lazarevitch. *Zur Paragenesis der Kupfererze von Bor in Serbien* (Z. f. pr. G., p. 153-155).

[3] *Gisements visités en 1905. Coll. Ec. d. M.*, 2864.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chalcopyrite quartzeuse, ou de la pyrite non cuivreuse, parfois avec galène et blende accessoires (colline Saint-Georges, etc.).

Au voisinage, l'andésite elle-même est souvent pyritisée. Dans la zone de cémentation, il est arrivé de rencontrer quelques belles lentilles de chalcopyrite avec silicates de cuivre. L'oligiste y est fréquent. On a également trouvé, comme nous l'avons dit[1], à Kaïnarja, à 10 km. plus au Sud, des amygdales remplies de quartz et cuivre natif qui rappellent une série de minerais analogues signalés au § I.

La disposition des gisements prouve, non des fissures de retrait, mais des fractures postérieures à l'andésite, ayant pu parfois rester stériles et ayant été ailleurs minéralisées par une métallisation, dont l'origine première semble néanmoins en rapport manifeste avec la venue profonde des andésites. Leur disposition individuelle est généralement très irrégulière et leur coincement rapide en profondeur; mais l'ensemble du système filonien présente une certaine constance.

2° ALGÉRIE

Groupe de Bougie à Bône. — En Algérie, on constate parfois la relation du cuivre avec des roches éruptives.

Comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, les gisements sulfurés complexes d'âge tertiaire, si abondamment représentés en Algérie, et probablement tous dépendants de venues assez analogues, se divisent, pour leur utilisation pratique, en des catégories très diverses suivant la nature du métal prépondérant, C'est ainsi que le groupement zinc et plomb, le plus fructueux actuellement, paraît dominer surtout dans l'intérieur du pays, lorsqu'on s'éloigne de la côte et, en particulier, dans l'Est (département de Constantine ou Tunisie). Les associations, où l'antimoine et le mercure jouent un rôle notable, sont assez concentrées dans la région de Guelma à Souk-Arrhas et Batna. Au contraire, le cuivre est, en principe, plutôt concentré à proximité de la côte, dans le voisinage plus direct des roches éruptives, dont il paraît dériver et qui, elles-mêmes, forment une traînée si manifestement littorale. Ces gisements de cuivre n'en restent pas moins, eux aussi, des filons à sulfures complexes, dans lesquels le cuivre ne joue même, industriellement, qu'un rôle très secondaire. Nous allons en parcourir quelques-uns pour mettre en évidence cette association intime du cuivre et des autres métaux sulfurés qui n'a pas toujours été bien comprise.

Entre les divers gîtes cuivreux complexes d'Algérie, dont l'étude sera donnée plus loin[2], nous envisagerons seulement ici ceux situés entre Bougie et Bône, au Nord de Constantine. Ces minerais complexes, avec chalcopyrite et cuivre gris, semblent directement en relation avec une série tertiaire de granites, microgranulites, trachy-andésites et liparites. Ils rentrent donc bien dans le groupe que nous étudions en ce moment.

Par assimilation il est très vraisemblable que les autres gisements complexes de cuivre, plomb, etc., ont un lien profond, mais plus lointain, avec les mêmes roches.

[1] Tome 2, page 642.

[2] Tome 2, p. 730 à 736. Voir fig. 323 et 324, tome 2, p. 732 et 733. Cell,Ec. d. M., 2785.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

En partant de l'Ouest, la concession peu exploitée de *Cavallo* (18,5 kil. W.-27° S. Djidjelli) porte sur des lentilles de minerais complexes, galène, blende, pyrites de cuivre et de fer, dans des roches éruptives tertiaires. Il y a eu là, sur un gisement qui ressemble un peu à celui de Kef-oum-Theboul, décrit plus loin dans un autre groupe [1], une petite exploitation pour cuivre, ayant pu produire environ 20 000 t. de minerai préparé.

A l'Est, nous trouvons l'important massif éruptif, qui s'étend de Collo au cap Bougaroun et qui comprend surtout trois catégories de roches : des serpentines, dérivant de lherzolites; des microgranulites à pinite tertiaires, passant à des liparites, avec porphyres pétrosiliceux fluidaux ou perlitiques, probablement de l'âge du ludien ; enfin, des liparites à quartz globulaire, des dacites, des diorites quartzifères, des dolérites andésitiques, etc.

Les serpentines renferment, par une association tout à fait générale, les seuls petits gîtes de fer chromé reconnus en Algérie, ceux de *Taffercha* et d'*Euch-el-Bez*.

En rapport avec des microgranulites, à leur contact avec le nummulitique, se trouvent *Cheraïa* (5 kil. W.-21° N. de Collo) et *Oued-Bou-Assès* (9 kil. W., 28° S. de Collo), où l'on observe des fissures incrustées de chalcopyrite, blende, galène, et calcite. Dans le premier gîte, il y a, en outre, de grandes masses de pyrite de fer. Enfin, on connaît, en divers points du massif éruptif lui-même, des associations de pyrite de fer, magnétite et oligiste (*Aïn-Sedma*, *Sidi-Driss*, etc.)

C'est toujours en rapport avec la même série éruptive tertiaire que se trouve un assez beau filon complexe à *Aïn-Kechera* (ou *Chabet-Aïn-Far*), près *El-Milia*, filon comprenant blende, galène, chalcopyrite et pyrite de fer. On a là une épaisseur d'environ 0,40 m. en minerais massifs et presque sans gangue. L'extraction de 1905 à 1907 a produit 600 t. de blende, 200 t. de galène et, pratiquement, pas de cuivre.

Au *cap Takouch*, au N.-W. de Bône, on connaît un peu de plomb avec les mêmes roches. Puis viennent, en se rapprochant de Bône, la concession abandonnée de *Aïn-Barbar* (22 kil. W.-24° N. de Bône), où l'on a trouvé autrefois, avec de la chalcopyrite, de magnifiques cristaux de blende noire, celle de *Mellaha* (12,5 kg. W.-3° N. de Bône), enfin les recherches de la *Voile-Noire* (12,5 kg. N.-40° W. de Bône) : le tout portant sur des filons complexes de pyrite, chalcopyrite et blende à gangue quartzeuse, au contact des trachytes avec des schistes éocènes (ludien) ou des terrains cristallophylliens.

3° — ASIE

En Asie, nous avons à étudier la région du petit Caucase et de l'Arménie, le Yunnan et le Tonkin, le Japon. Nous y retrouverons souvent, et notamment dans le Petit Caucase, les associations de sulfures complexes que nous venons déjà de signaler en Algérie et qui forment, d'autre part, la caractéristique du groupe VII, examiné plus loin.

[1] Tome 2, page 735 et fig. 325 et 326. — Cf. 1910. Dussert. *Gis. mét. de l'Algérie* (Ann. d. M., p. 68).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Petit Caucase (Kédabek, Allah Verdi) [1]. — Quand, dépassant le Caucase vers le Sud, on entre, avec le petit Caucase, dans la zone des grandes éruptions secondaires et tertiaires qui se continuent en Arménie, on trouve toute une très intéressante région cuprifère, dont les minerais, à la régularité près, ne sont pas sans analogie avec ceux de certaines riches régions de l'Ouest-Américain que nous aurons bientôt l'occasion d'étudier. En relation avec des roches cristallines diverses, dont l'âge semble généralement jurassique ou crétacé, on observe des venues siliceuses contenant des amas de sulfures divers, qui se sont rarement beaucoup éloignées de la roche mère et qui, tantôt ont incrusté ses propres fissures, ou des brèches à son contact, tantôt se sont ramifiées en stockwerks dans les terrains immédiatement encaissants. Les grands filons si réguliers qui, dans un groupe métallogénique analogue, ont fait la fortune du Montana, ne semblent pas exister ici ; mais on a plutôt des chapelets d'amas incorporés à ces zones siliceuses et atteignant, dans les cas les plus favorables, comme celui de Kédabek, des dimensions de 200 m. en longueur, sur une largeur de 50 m. On peut remarquer, comme analogie avec l'Ouest-Américain et avec le Japon, la présence de l'or et de l'argent dans les chalcopyrites. D'autre part, l'association assez fréquente de la molybdénite établit un rapprochement avec tout un groupe de minerais cupro-aurifères, en général reliés à des granulites, ou à leurs équivalents plus superficiels dans les séries éruptives secondaires [2]. On observera, dans cet ordre d'idées, que la roche quartzeuse, où sont englobés, comme nous allons le voir, les principaux amas de Kédabek, contient du feldspath et des cristaux de topaze, de tourmaline, etc.

Ces minerais, situés dans un pays montagneux et accidenté, ont, d'ailleurs, généralement subi une altération d'origine superficielle, qui les a, jusqu'à une profondeur notable, amenés, soit à la forme des minerais de cémentation, comprenant chalcosine, érubescite, cuivre natif, etc., soit à la forme oxydée plus haute (cuivre oxydé noir, malachite, azurite, etc.), et ce groupe de minerais altérés se présente accompagné de gypses remarquablement fréquents, qui semblent dus à une double réaction des sulfates métalliques sur les carbonates de chaux des terrains encaissants (calcaires ou grès calcarifères), en même temps que des argiles, kaolins et oxydes de fer, tiennent à une altération pure et simple des feldspaths ou des pyrites. Ces types altérés ont eu souvent un rôle industriel prédominant.

Géographiquement, on peut distinguer trois groupes métallifères principaux en relation avec trois zones principales de ces roches demi-profondes, intrusives et microgrenues, qui, dans leurs stades d'ascension et de fluidité successifs, forment, de bas en haut : la famille pétrographique

[1] 1901. Köller et Œhrn. *Beschr. der Kedabeker Kupfergruben.* — 1901. Fedorow. *Les roches de Kédabek* (en russe) (Mém. Ac. Imp. d. Sc. de St-Pét., 8e sér. t. 14, 48 p.). — 1904. Nicou. *Le cuivre en Transcaucasie* (Ann. d. M., 10e sér., t. 6, p. 5 à 55). — 1905. Köller. *The Kedabeg Copper mines* (Min. Mag. New-York, t. 12, p. 47-52). — 1909. Beck. *Loc. cit.*, t. 1, p. 149. — 1911. L. De Launay. *Richesses minérales de l'Asie*, p. 587 à 594 et bibl., p. 581. (Voir la carte minière de l'Arménie, pl. VI et les cartes minières du Caucase, p. 583 et 585.) — Coll. Ec. d. M., 1786 (Akthala).

[2] Voir, plus haut, sur cette association du molybdène, tome 2, page 663.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des microgranulites (porphyres quartzifères, ou quartz-porphyres); puis celle des diabases (prenant souvent la structure ophitique); enfin celle des porphyrites, dans lesquelles la structure devient nettement microlithique (types andésitiques primaires) ou des andésites proprement dites.

Les trois groupes métallifères que nous allons décrire successivement sont, de l'Ouest à l'Est : A, celui au S.-E. de Batoum entre Batoum et Kars (Artvine, Dzanzoul) ; B, celui, tout autrement important, qui est au Sud de Tiflis entre Tiflis et Erivan et qui s'étend de là fort loin vers le S.-E., parallèlement à la Koura, avec les mines d'Allah-Verdi, Tchamlouk, Karavan-Sérai, Délidjan, Kédabek, etc...) ; enfin, C, le groupe de Zanghezour[1].

Industriellement, le Caucase est parti de 2 400 t. en 1896 pour s'élever à 4 857 t. en 1904; on est retombé à 3 763 t. en 1905, mais l'on n'a atteint 4 840 t. en 1908 ; 8 134 t. en 1910.

La répartition s'est faite comme suit par gouvernements, en 1902 :

Elisabethpol. — Kédabek (usines Siemens : 1 540 t.). ; Sionninsk (usines de Méli-Azariansk) : 690 t. ; Ougour-Tchai :62 t. ; Halizour : 54 t.

Tiflis. — Allah Verdi : 935 t. en 1901 ; 1 240 t. en 1905.

Batoum. — Ergha : 104 t.

A. *Groupe de Batoum.* — Le gouvernement de Batoum n'a encore donné lieu qu'à peu de tentatives minières.

Autour d'*Artvine*, on rencontre des dykes et masses de microgranulite, passant à des porphyres diabasiques, qui recoupent, en les métamorphisant, des grès crétacés. De nombreux filons quartzeux traversent l'un et l'autre système de roches et contiennent un mélange irrégulier de divers sulfures, parmi lesquels dominent le cuivre et le fer, avec un peu de plomb, et, plus rarement, de zinc.

Ainsi le gisement de *Khot-éli* contient, au contact de deux porphyres un peu différents, l'un quartzifère, l'autre diabasique, deux veines de 0,35 m. à 0,45 m. d'épaisseur avec blende et pyrites. Un filon voisin est riche en cuivre et présente, sur ses salbandes, des feuilles de cuivre natif. A *Badzghirel*, une veine, contenant pyrite de cuivre, blende et galène, large de 0,10 m., traverse les grès, etc. Au voisinage d'Artvine on connaît, en outre, des amas d'hématite rouge (pyrite altérée) dans des calcaires sénoniens...

B. *Groupe de Tiflis à Erivan.* — a) *Allah-Verdi.* — En partant de l'Ouest, on trouve d'abord, dans cette seconde zone, l'ensemble caractérisé par Allah-Verdi, accessoirement par Akthala et Tchamlouk, qui, après de longues vicissitudes, a repris aujourd'hui une importance industrielle croissante, grâce notamment à l'ouverture de la ligne stratégique joignant Tiflis à Kars et Erivan.

Si on laisse de côté certaines descriptions fantaisistes, datant d'une époque où on se représentait volontiers des torrents de silice hydro-thermale coulant sur une superficie dont on oubliait l'érosion, il est permis de dire qu'il y a, à *Akthala*, au milieu d'andésites quartzifères (dacites), riches en amphibole et en pyroxène, des zones d'incrustation quartzeuses, formant amas filoniens, où sont épars des sulfures divers,

[1] Le gîte spécial de Dachkessan, déjà signalé pour le cobalt, t. 2, p. 613, est décrit plus loin, page 705.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chalcopyrite, érubescite, pyrite de fer, galène argentifère et aurifère. Ces amas donnent l'impression d'être intercalés entre deux coulées. S'il en est ainsi, on devrait seulement en conclure une analogie avec les conditions qui se présentent pour beaucoup d'autres amas filoniens formant filons-couches entre deux roches ou deux strates sédimentaires, souvent au contact de porphyres quartzifères.

A Akthala, les dacites du toit ont été recouvertes par une coulée de basalte postérieure. On a cru remarquer, au toit du gîte, une première zone ne contenant que peu de sulfures (des pyrites), puis une zone centrale à sulfures divers, enfin une zone inférieure surtout plombeuse. Il est peu probable que ces observations restent exactes sur de grandes longueurs. Ultérieurement, des phénomènes d'altération, transformant ce gisement dont l'altitude est déjà forte, ont développé des argiles et du gypse le long du mur. A Akthala, le minerai, qui fut célèbre pour sa richesse en argent, est aujourd'hui cuprifère avec beaucoup de zinc et de plomb.

Le gisement de *Tchamlouk* est également formé d'une dizaine de poches ayant quelque 10 m. de long sur 5 m. d'épaisseur, qui s'alignent suivant une même direction W. N. W. La galène est peu fréquente. La barytine apparaît fréquemment. Les altérations ont développé là, par endroits, de véritables bancs de gypse, dont la production s'explique par l'existence (notamment au mur) de grès calcaires jurassiques.

Enfin, à *Allah-Verdi,* une première compagnie française, qui dut fermer, a, depuis 1897, été remplacée par la « Société industrielle et métallurgique du Caucase ». On a encore une série d'amas en chapelets de direction N. N.W. et de pendage W.S.W., avec des ramifications peu importantes dans la roche encaissante. La poche principale a une longueur de 150 à 200 m., une largeur maxima de 40 m., avec une épaisseur moyenne de 12 m. pouvant atteindre 30 m. ou descendre à 2 m. Ces amas quartzeux, avec sulfures métalliques disséminés, reposent au mur sur une sorte de schiste argileux et gypseux, accompagné d'une épaisse formation de brèche qui, d'après les descriptions, pourrait faire penser à la base d'une nappe de charriage. On trouve ensuite, des deux parts, des andésites quartzifères très altérées. Les minerais sont accompagnés de gypse et souvent d'argiles à chlorite (produit d'altération de quelque roche amphibolique). Le minerai lui-même est en grande partie oxydé, surtout au mur. Le métal dominant industriellement est le cuivre; il est accompagné de plomb et de zinc. Les minerais triés arrivent à tenir environ 3,5 p. 100 de cuivre.

b) *Chagali-Héliar, Sitzimadan, Délidjan, etc.* — Le groupe de Chagali-Héliar, encore peu exploité, mais que la ligne de Tiflis à Alexandropol a rendu un peu plus accessible, est situé à l'Est d'Allah-Verdi, dans la vallée supérieure de la Bortchala, près du point de rencontre des limites des trois gouvernements de Tiflis, d'Erivan et d'Élisabethpol. Vers 1902, on a commencé des recherches au Mont Héliar, où l'on a reconnu une venue quartzeuse à sulfures disséminés, avec quelques fractures d'enrichissement, qui, ayant été altérées par les eaux de surface, renferment le cuivre sous la forme de covelline et cuivre natif, ce dernier en filaments associés avec de la chalcopyrite. Tous ces minerais

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ont, par leur constitution même, le tort d'être ordinairement trop siliceux et trop peu sulfurés pour permettre une fusion directe après grillage ou un pyritic smelting.

On peut rattacher à ce même ensemble cuprifère beaucoup d'autres filons mal connus. Citons seulement celui de *Novo-Bayazet*, près de l'usine de Miskhan, où, dans la syénite, une veine quartzeuse, avec calcédoine, contient des pyrites de cuivre et de fer associées à la molybdénite, comme les gisements que nous allons décrire dans le Zanghezour, ou encore le filon de l'usine de *Sitzimadan*, près de la route de Tiflis à Alexandropol, situé au contact d'une diabase et d'un calcaire dans une gangue de chlorite attribuable à l'altération de la roche et accompagnée de gypse.

c) *Kédabek* (*ou Kiadébek*)[1]. — Cette mine a été la première affaire montée à l'européenne dans la région du Petit Caucase. L'entreprise, dite du *Mis-Dagh* (montagne de cuivre), fut rachetée en 1864 par les Siemens de Berlin[2].

On a là (fig. 308, 809) des amas filoniens en chapelets dans une microgranulite (porphyre quartzifère[3] ou liparite) considérée comme d'âge jurassique, sous des coulées d'une roche andésitique, qualifiée de diabase effusive ou de porphyrite diabasique. Une masse voisine de diorite, qui recoupe ces roches, peut avoir contribué à la venue cuprifère. Celle-ci présente une sorte de solidarité avec les microgranulites, dans lesquelles elle est concentrée sous le toit imperméable des diabases. On connaît aujourd'hui 17 de ces amas minéralisés, dont les dimensions atteignent de 100 à 250 m. de long, avec des largeurs et des hauteurs de 2 à 50 m. Leur minéralisation comprend, outre le groupe ordinaire des sulfures complexes de fer, cuivre, plomb et zinc, de la magnétite assez fréquente et des traces appréciables d'or et d'argent, environ 0,007 p. 100 des deux métaux précieux, répartis dans la proportion de 1 à 16. La blende est assez constante pour gêner le traitement métallurgique. La présence de la magnétite est un fait dont nous avons signalé la fréquence dans toutes les métallisations en rapport avec les venues granulitiques et que nous retrouverons sans cesse dans les départs acides du cuivre.

Parmi les amas, on cite : l'amas supérieur de 200 m. de long et 30 m. de large ; le Karl-Stock qui en fait la suite un peu plus bas ; le Werner-Stock de 50 m. de long sur 10 de large, etc.

La présence d'une gangue de skarn silicaté (grenat, pyroxène, hornblende, épidote, anortithe et fer titané), où l'on a voulu voir à tort une roche éruptive spéciale dite kédabékite, accuse la réaction ordinaire avec les calcaires que nous retrouverons bientôt dominante dans le type Banat. Cette kédabékite ne renferme cependant elle-même que peu de cuivre et elle apparaît en lambeaux dans la diorite, à l'intrusion de laquelle elle paraît due.

En moyenne, les amas cuprifères sont assez nettement terminés par en haut et passent, au contraire, en bas à la roche encaissante imprégnée de

[1] Voir les détails industriels dans *Richesses min. de l'Asie*, p. 75 et 592.

[2] Une usine, alimentée au naphte, fonctionne régulièrement depuis 1897.

[3] Notre microgranulite est appelée quartz-trachyte par les ingénieurs allemands.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pyrites. Cette imprégnation pyriteuse a contribué à une altération de surface très active qui a transformé cette roche. Par suite du même phénomène, il s'est produit une cémentation qui a concentré le cuivre dans le haut des amas aux dépens des pyrites disséminées dans la microgranulite.

Les preuves de telles altérations sont nombreuses à Kédabek, qui est à plusieurs centaines de mètres au-dessus des vallées voisines. On y a trouvé beaucoup de cuivre oxydé noir, de covelline, des feuilles de cuivre natif, du gypse et de l'oxyde de fer. Les analyses sont extrêmement variables, depuis la chalcopyrite presque théorique, jusqu'à des sulfures de fer contenant à peine des traces de cuivre, avec des quantités parfois sensibles de zinc, antimoine, etc. Ailleurs, on a des nids de galène.

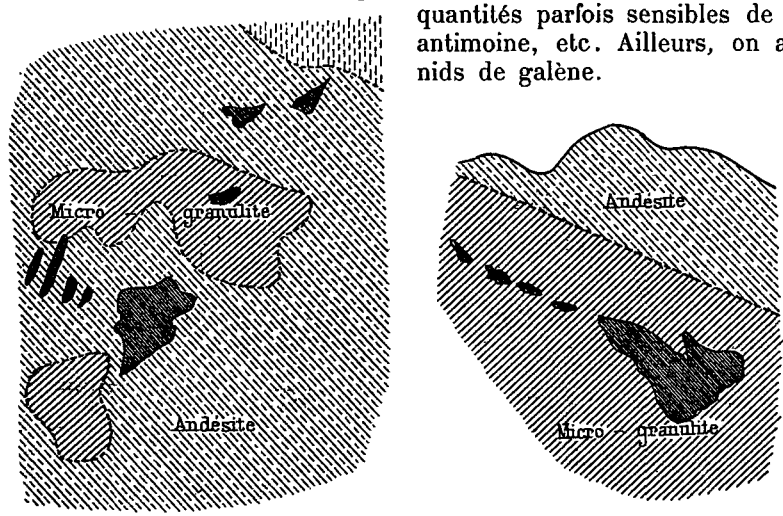


Fig. 308 et 309. — A gauche, plan de la surface du sol à Kédabek, avec projection des amas cuprifères ; à droite, coupe verticale, d'après Nicou.
La coupe traverse les amas pyriteux en projection au Sud de l'affleurement de la microgranulite sur le plan.

C *District du Zanghezour.* — Ce district, encore très peu mis en valeur, mais qui paraît susceptible d'un grand avenir, se trouve dans un massif montagneux, limité au Sud par la vallée de l'Araxes qui forme frontière avec la Perse. Il s'étend sur les deux gouvernements d'Elisabethpol et d'Erivan et se poursuit à l'Ouest jusqu'aux environs de Nakhichévan. Son importance historique a été considérable. Géologiquement, on y observe de nombreux filons de quartz avec cuivre traversant de hauts plateaux andésitiques et des sédiments jurassiques. Le remplissage comprend, outre la pyrite de cuivre, de la pyrite de fer, avec des traces fréquentes de métaux précieux ; la galène et la blende sont rares. La forme est celle d'amas assez irréguliers, mais qui se succèdent parfois en chapelets sur 2 km. de longueur. On exploite, d'une manière régulière les mines de Sionninsk et Katara ; on a reconnu, en outre, les gisements de l'Agarak-tchaï, de Kavart-tchaï, d'Halizouri. A *Katara,* la pyrite de cuivre occupe le centre du filon de quartz et sa proportion diminue quand on se rapproche des bords. A *Agarak-tchaï,* le

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

filon est une brèche de contact, large de 0,60 m., entre syénite et diorite. On y observe l'association de la chalcopyrite avec la molybdénite. A *Kavart-tchaï*, les filons sont presque horizontaux, etc. Comme dans les gisements précédents, les altérations superficielles ont joué ici un grand rôle, notamment à Agarak-tchaï, et produit leurs effets habituels : malachite, cuivre oxydé, cuivre natif, etc. Cette zone, remarquable par la richesse de ses minerais comme par leur abondance, semble se prolonger des deux côtés du lac Goktcha pour aller rejoindre Kédabek et Sitzimadan.

Arménie et Pont. — La région de l'Arménie et du Pont est, depuis longtemps, connue pour sa production de cuivre, qui alimente les chaudronniers de Trébizonde, de Tokat, etc. Elle forme, à cet égard, le prolongement de celle du Caucase, où cette industrie est depuis longtemps organisée.

Nous nous contenterons de rappeler ici la mine d'Arghana Maden, décrite plus haut, comme en relation avec des serpentines.

Plus loin, et déjà au Sud de Trébizonde (Trapezund), on retrouve du cuivre à Maden-khan et un gîte complexe, surtout argentifère, à *Gumushhané*.

Cet arrière-pays de Trébizonde contient plusieurs autres petits gîtes de cuivre, dont les produits sont travaillés par les chaudronniers de Trébizonde et de Matchka.

Plus à l'Ouest, on retrouve encore du cuivre à Gelivera, Sary-baba, Madenkoi et Bakir-kuressi.

Yunnan. — Le cuivre, très abondant au Yunnan[2], paraît y être, en principe, associé avec des roches de la famille des andésites ou porphyrites, mais sous une forme filonienne : le métal ayant, suivant les cas, été entraîné à distance plus ou moins grande de la roche mère, en sorte qu'on a, avec une même origine profonde, des gisements d'aspect fort divers, depuis de simples fissures incrustées dans la roche, ou des gisements de contact le long de celle-ci, jusqu'à de véritables filons pouvant s'éparpiller et prendre l'allure de filons-couches dans les schistes, ou, au contraire, se localiser davantage dans les calcaires. Le remplissage est toujours à gangue quartzeuse, avec association de pyrite de fer. Les altérations postérieures, qui, comme nous allons le voir, ont très fortement transformé ces gisements, ont eu pour effet de laisser souvent le cuivre associé avec des oxydes ou carbonates de fer, ainsi qu'on le voit dans une foule d'autres pays. Ces gisements cuprifères sont reconnus en très grand nombre dans le Yunnan, sur toute une longue zone Nord-Sud, à peu près conforme aux plissements des terrains anciens et aux dislocations de la région, depuis le groupe situé près de la frontière française entre celle-ci et Yunnan-sen, notamment près des mines d'étain de Kotiou qui peuvent avoir un rapport génétique avec le cuivre, jusqu'au Fleuve Bleu. Industriellement, nous verrons que les filons les plus riches semblent ceux du groupe de *Toung-tchouan*, au Nord du Fleuve Bleu. Mais,

[1] Tome 2, p. 653.

[2] Voir L. De Launay. *Richesses minérales de l'Asie*, p. 754 et suiv. et la carte métallogénique de la Chine et de l'Indo-Chine, pl. VIII.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comme ceux du Yunnan méridional ont pu être particulièrement étudiés par les ingénieurs et géologues français, c'est par ceux-ci que nous commencerons.

Les gisements associés aux porphyrites s'y présentent, suivant Lantenois, soit en filons dans les schistes, soit en filons dans les calcaires, soit en filons dans la porphyrite, soit enfin en gîtes de contact près de ces roches.

Nous ne séparerons pas ces groupes, si évidemment associés par leur origine.

A. Les types de fissures incrustées dans la roche se présentent, par exemple, non loin des mines d'étain de Ko-tiou à Ouai-tao-chan, et plus au Nord, dans le groupe de Lou-nan. A *Ouai-tao-chan*, on a, dans une roche très altérée formant l'ensemble de la montagne qui semble être de l'andésite, des fissures irrégulières et d'aspect assez pauvre, contenant du quartz avec de l'érubescite, de la pyrite de cuivre et de la pyrite de fer. Des fissures analogues se retrouvent, paraît-il, au contact de la roche éruptive et du calcaire encaissant.

Le groupe de *Lou-nan*, abandonné depuis une soixantaine d'années, est situé à environ 50 km. à l'Est d'Yunnan-sen. On a là : d'une part, des schistes et grès dévoniens avec bancs calcaires intercalés ; de l'autre, séparés des premiers par une grande faille, des calcaires compacts permiens, avec poudingues, grès rouges et mélaphyres. On trouve, dans le mélaphyre (Mao-chouï-tong), des amygdales de quartz améthyste et de calcédoine parfois imprégnées de cuivre[1]. Ailleurs, il y a fissures minéralisées dans cette roche : ailleurs, gisements de contact le long du calcaire (Se-tseu-tchang), comme nous allons le trouver plus au Sud à Chémo. Enfin, l'on observe des veines ou filons dans les schistes dévoniens et dans les calcaires, soit dévoniens, soit permiens. Les plus continues de ces veines, peuvent avoir 2 à 3 cm. d'épaisseur réduite, ou représenter une centaine de kilos de minerai trié à 20 p. 100 de cuivre par mètre carré de filon. L'impression de Lantenois a été celle d'une minéralisation très disséminée et irrégulière, sans valeur sérieuse malgré le grand nombre des anciennes mines. Il faut ajouter à toutes les différences d'aspect tenant à la constitution même des gîtes, le rôle considérable des remaniements secondaires, surtout dans les calcaires, qui rend parfois difficile d'analyser la constitution primitive. Ces altérations se traduisent localement par la production d'oxydes de cobalt manganésifères, dont on a fait une petite extraction dans le groupe de Lan-gni-tsin et qui existent également à Chémo, à Toung-tchouan, etc.

B. Comme gisement de contact, la mine de *Chémo*, à 50 km. Sud de Lou-nan, paraît être une des plus caractéristiques. La roche éruptive y forme coulée au-dessus du calcaire et celui-ci s'est profondément altéré le long de ce contact, comme cela arrive si souvent.

Le minerai, résultant de cette altération, forme une sorte de couche inclinée, contenant, avec du quartz et du fer oxydé, du cuivre carbonaté et de l'oxyde de cobalt manganésifère assez abondant.

C. Nous venons déjà de citer, à Lou-nan, des exemples de fissures

[1] Voir p. 642 à 644, le rapprochement avec d'autres amygdales cuprifères semblables.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans les calcaires, donnant des sortes de chapelets. Ces fissures, qui, nulle part ici, n'ont un développement sérieux, sembleraient beaucoup plus importantes, d'après Brossard, dans la région d'*I-men*, à l'Ouest d'Yunnan-sen, où l'on aurait, d'après cet ingénieur, reconnu, au lieu dit Hiang-pou-tchang, un filon de 800 m. de long dans le calcaire, renfermant une colonne riche, où l'épaisseur totale serait de 2 ou 3 m., avec épaisseur réduite de 0,25 m. dispersée en 4 ou 5 veinules et donnant des lentilles qui atteindraient jusqu'à 0,30 m. d'épaisseur. Il existe, à l'Ouest de Lounan, un autre groupe, dit de Laou-chou-cha, où les veines sont très éparses dans les schistes et dans les calcaires d'âge silurien ou dévonien.

D. Avant de quitter le Sud du Yunnan, il convient encore de signaler un gisement qui, d'après la description de Lantenois, se présenterait dans des conditions très différentes des précédents, comme une sorte d'imprégnation ou de dépôt dans une couche sédimentaire. C'est le gîte de *Tien-pao*, situé près de Sin-chin, à 50 km Sud de Yunnan-sen. Ce gisement est de quelque importance ; car il passe pour avoir occupé 1 000 ouvriers et produit 300 t. de cuivre par an. On y trouve, dans les grès quartziteux qui forment la base du calcaire carbonifère, entre des schistes au toit et des grès au mur, des zones argileuses ayant 0,30 m. à 0,60 m. d'épaisseur, avec boules de minerais de cuivre oxydé ou carbonaté. L'aspect serait donc, dans une certaine mesure, analogue à celui du Boléo en Basse-Californie[1]. Quant à l'origine, il est, comme dans tous les cas semblables, difficile de se rendre compte s'il s'agit d'un gisement provenant d'une imprégnation hydrothermale filonienne ayant incrusté les interstices des grès, ou plutôt d'un remaniement mécanique de minerais préexistants empruntés à des affleurements détruits. En tout cas, le rôle de l'altération secondaire a été, comme on peut le penser, prédominant et a entraîné des concentrations de la substance utile.

Les détails, que nous venons de donner sur ces gisements relativement bien connus, permettront d'être brefs sur les autres, dont nous nous contenterons d'indiquer la répartition.

Vers le Nord d'Yunnan-Sen est un groupe cuprifère particulièrement important, celui de *Toung-tchouan*, près du Fleuve Bleu (Kinchakiang). On peut voir là, à la mine de Lou-pou, vers 2 700 m. d'altitude, un filon encaissé dans la porphyrite, qui elle-même s'intercale sous des schistes charbonneux avec couche de houille et lit de sphérosidérite. Ce filon-couche horizontal, incrusté dans un délit de la roche, et prolongé sur une grande distance, est formé, dans la zone superficielle, seule atteinte par les travaux, de barytine avec cuivre natif et cuivre oxydulé, qui sont évidemment des altérations d'un minerai sulfuré. De tous côtés, autour de Toung-tchouan (Lou-fong-kéou ; Kou-niou-tchang), on rencontre de même des noyaux de cuivre natif ou de cuivre oxydulé dans la porphyrite.

En même temps, on trouve là, comme dans les gisements précédents de Chémo, etc., des nodules d'asbolite cobaltifère utilisés pour fournir la célèbre couleur bleue des porcelaines du Kiang-si.

Dans le groupe important de *Ta-mé-ti* (Tang-tan), au Sud-Ouest de

[1] Voir plus loin, t. 2, p. 790 à 793.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Toung-tchouan, où des Japonais ont fait un essai malheureux d'exploitation moderne, on a, vers 2 200 m. d'altitude, des veines cuprifères en stockwerk dans le calcaire dinantien ou en filonnets dans les schistes : veines qui peuvent s'étendre à 1 500 m. de distance dans les cas les plus favorables, et dont le minerai, pyriteux à l'origine, a été plus ou moins transformé en carbonates avec gangue barytique. Suivant les points, on observe, ou de l'érubescite dans les schistes, ou de la pyrite cuivreuse, ou, quand la roche encaissante calcaire a facilité l'altération, des carbonates : ce qui permet de faire des lits de fusion par mélange des carbonates et des sulfures.

Tout à fait à l'Ouest, il existe encore un district métallisé vers *Tali* et *Li-kiang* (près du Fleuve Bleu) jusqu'à Ouei-si, où les minerais de cuivre sont également associés avec de la galène et de la blende. On y observe, notamment, des imprégnations cuivreuses dans un calcaire superposé à de la porphyrite altérée.

Dans l'ensemble, il y a lieu de remarquer, d'un point de vue métallogénique, que, comme il arrive toujours, on a fréquemment négligé les minerais restés pyriteux en veines dans les schistes, tandis que l'attention a été surtout attirée sur les minerais altérés, soit qu'ils fussent dans des calcaires, avec transformation en carbonates, soit qu'on les trouvât dans des porphyrites, parfois amygdaloïdes, avec production de cuivre natif.

Industrie. — Industriellement, le cuivre du Yunnan a été recherché par les Chinois en raison de la nécessité où était le trésor impérial de se fournir ce métal précieux, seul utilisé comme numéraire. Son exploitation date au moins de mille ans et il est bien certain qu'elle est plus ancienne. Au milieu du XVII[e] siècle, la prise de possession de ces mines a été la cause principale de l'occupation chinoise dans ces pays. La Régie impériale, chargée de la fabrication du métal, y a été organisée alors et a fonctionné avec la réglementation la plus minutieuse. Il y avait, à cette époque, 54 mines pouvant donner plus de 5 000 t. Aujourd'hui encore, le cuivre de Yunnan est le seul métal monnayé dans tout l'empire. Son cours correspond à peu près rigoureusement à son poids. La production totale, obtenue par réduction au charbon de bois, n'est plus maintenant estimée qu'à environ 1 000 à 1 500 t. par an. Cette diminution, paraît-il, ne serait pas seulement due à l'épuisement des gisements, dont il y aurait encore des réserves considérables, mais aussi à la disparition des forêts, qui ne permet plus en général le traitement sur place et ne laisse exploitables que les minerais assez riches pour valoir un transport. Il faut, dit-on, en général, de 20 à 30 p. 100 de cuivre pour que le minerai soit accepté dans les lits de fusion. La conséquence est l'accumulation sur le carreau des mines de minerais à 10 ou 15 p. 100, qui peuvent constituer une réserve intéressante le jour où les combustibles minéraux accéderont plus facilement vers les mines, ou les minerais vers les centres houillers. On pourra également alors compter sur des stocks importants de scories anciennes à 3 p. 100 de cuivre : teneur qui représente la moyenne normale des minerais eux-mêmes dans la plupart des grandes mines européennes et nord-américaines.

Les principaux centres d'extraction, parmi ceux dont nous venons d'étu-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dier la géologie, sont d'abord le district de Toung-Tchouan, Lou-pou et Tchao-Toung, au Nord d'Yunnan-Sen, où le groupe de Ta-Me-Ti (Tang-Tan) produit 500 t. Duclos signale, de ce côté, une dizaine de mines, dont l'une à Tchan-ka aurait fourni des blocs de cuivre natif. Les mines du Sé-tchouan, sur l'autre rive du fleuve, sont rattachées au même groupe. Plus à l'Ouest, vers 97° et 27°, le district de Ouei-Si, près de Li-kiang, possède une importance analogue (5 à 600 t. par an). On cite aussi la circonscription de Ouei-ning (ou Ouei-lin), située au Kouei-tchéou, mais administrée encore par le bureau de Yunnan-sen, qui produit surtout du zinc et du plomb. Les mines de cuivre principales sont, d'après Duclos, celles de Toung-tchang-ho, Tang-ta-tchang, Ma-kon-ho.

En se rapprochant de Yunnan-sen, il existe, soit à l'Ouest vers I-men, soit au S.-E. d'I-léang vers Mong-tzé et au Sud à Ko-tiou, des régions métallisées en cuivre, sur lesquelles l'existence de très nombreuses mines, pour la plupart abandonnées, a attiré l'attention quand il s'est agi de décider le tracé de la ligne aboutissant à Yunnan-sen. La plupart de ces gisements semblent disséminés, pauvres et d'une valeur pratique secondaire. Les seuls qui paraissent susceptibles de quelque développement sont ceux de Lou-nan, dont Lantenois a évalué le maximum de production possible à 1 000 ou 1 500 t.

Tonkin. — Quelques petits gîtes cuivreux du Tonkin sont décrits comme en relation directe avec des roches éruptives d'intrusion ou d'épanchement. Ces gisements se trouvent dans le S.W. du Tonkin, notamment sur la rivière noire, en amont de Van-yen ; et le principal d'entre eux, celui de *Maia*, à 27 km. de Van-yen, a donné lieu, en 1899, à un faible essai d'exploitation bientôt abandonné. Le cuivre s'y présente, dans les schistes, en veines quartzeuses, où l'altération a déterminé un enrichissement sous la forme d'érubescite et de chalcosine, complété, à la surface même, par de la malachite avec de l'oxyde de fer.

En se rapprochant de Hanoï, vers l'Est, on trouve encore, dans le mont Ba-vi au Nord de Hoa-binh, à *Da-phuong*, diverses veines de chalcopyrite et érubescite, parfois même avec cuivre natif, également intercalées dans des schistes verts amphiboliques au voisinage de roches vertes éruptives. Au col de *Kem*, une roche verte semblable renferme elle-même de l'érubescite et du cuivre natif.

Japon[1]. — Dans le Nord de la grande île, on trouve, dans la zone tertiaire, pénétrée de roches éruptives, qui occupe l'Ouest de la chaîne paléozoïque avec une direction N.-S., un certain nombre de gisements métallifères, dont la minéralisation consiste surtout en cuivre, plomb argentifère plus rare et, accessoirement, manganèse, avec quelques métaux précieux et dont les principaux sont, du Nord au Sud : Iwasaki (Mn), Hachimori et Mizusawa (Cu), Kosaka (Ag et Cu), Omaki, Oyu, Okuzu et Osarizawa (Cu), Ani (Cu), Shirayama (Cu), Hisan-ichi (Cu et Pb), Arakawa (Cu). La plupart de ces gisements sont en rapport direct avec des dykes de roches tertiaires, andésites, etc., dans des tufs éruptifs et

[1] Voir dans les *Richesses minérales de l'Asie*, la carte minière du Japon, pl. X. — 1909. *Mining in Japan, past and present*, 1 vol. de 322 p.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

se rapprochent par là des gîtes Ouest-américains étudiés plus loin. Ce sont des veines de quartz, dont les principales arrivent à former des masses très volumineuses et dans lesquelles on trouve des sulfures métalliques divers de fer, cuivre, plomb, argent, etc., ayant pu subir une altération superficielle plus ou moins avancée[1]. La production de cuivre au Japon atteint aujourd'hui 50.000 t.

La mine d'*Osarizawa*, se compose de nombreuses veines quartzeuses sans grande continuité et très enchevêtrées, qui traversent le tertiaire au voisinage d'andésites et de liparites. C'est un de ces types, fréquents dans l'Ouest américain, qui rappellent les stockwerks. Des cassures, pouvant avoir jusqu'à 1 m. de large, mais souvent très minces, sont surtout remplies par des matériaux des parois, avec une minéralisation de quartz et barytine englobant un mélange complexe de pyrite de fer, chalcopyrite, blende et galène. L'altération a donné : d'abord, de l'érubescite et de la chalcosine; puis du cuivre natif, du sulfate de cuivre, etc. L'or, qui a joué autrefois dans l'exploitation le rôle principal et qui contribue encore assez sensiblement à la valeur de la mine, provient, tantôt de la pyrite, tantôt de la chalcopyrite. On a pris, au début, les parties où il avait été dégagé par l'altération. Aujourd'hui, on le trouve dans l'affinage du cuivre. En 1908, on a traité 54 600 t. de minerai pour obtenir 1 380 t. de cuivre, 13,7 kg. d'or, 873 kg. d'argent.

Plus au Sud, le district d'*Ani*[2], où se trouve aujourd'hui une mine de cuivre de quelque importance, est dans le même cas et a produit un moment de l'or. Un assez grand nombre de filons ou veines traversent toutes les formations de la région, qui sont : d'abord des sédiments, à intercalations de cinérites et tufs volcaniques, pouvant contenir des couches charbonneuses, puis des andésites augitiques et des trachytes quartzifères. Il existe également du granite, probablement récent, qui est recoupé par de nombreuses galeries de mines. A Mukoyama, deux veines principales sont rémunératrices. Ce sont des zones d'imprégnation métallifère, comme il s'en trouve fréquemment dans les districts de ce genre, plutôt que des remplissages de fractures. La veine et la roche encaissante ont la même nature. Ailleurs, on a de nombreux filons cuprifères : les uns E.-W., qui semblent plus anciens, et les autres N.-S. Une liste d'une cinquantaine en a été dressée. La plupart sont inclinés de 60 à 90°, avec une puissance ne dépassant pas 15 à 20 cm. On y trouve un mélange de pyrite, chalcopyrite, galène, blende, etc., à gangue de quartz et barytine, avec développement superficiel des minéraux oxydés ordinaires, de l'or natif et de l'hématite ou de la magnétite associées. La teneur du meilleur minerai est de 1 p. 100 d'argent, l'or étant associé à l'argent dans la proportion de 1 à 100. Ani a produit, en 1908, 1 300 t. de cuivre et 1 391 kg. d'or argentifère.

Le groupe d'*Arakawa* comprend les mines d'Hisan-ichi, Hata, Kizam-

[1] Nous renvoyons au chapitres de l'argent et de l'or les mines où l'un ou l'autre de ces métaux précieux domine industriellement, telles que Kosaka (7 192 t. de cuivre, 300 kg. d'or, 53 300 kg. d'argent en 1908).

[2] La mine de cuivre d'*Ani* remonte, comme exploitation suivie, au début du XVIII[e] siècle. Ici encore on a commencé par exploiter activement, de 1620 à 1650, des affleurements aurifères à Mukoyama.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mori. A Arakawa, on a encore des tufs tertiaires, traversés par des filons qui les ont silicifiés au contact : filons renfermant le mélange ordinaire de pyrite, chalcopyrite, galène et blende, avec quartz et barytine et des produits d'altération tels que l'érubescite et le cuivre natif. Il y a cinq filons reconnus à peu près parallèles, dont le principal varie de 0,30 m. à 3 m. de large. A Hisan-ichi, le filon principal, large au maximum de 1,30 m., est encaissé dans l'andésite augitique. A Hata, les filons forment un stockwerk très ramifié à veines étroites dans des tufs, des schistes tertiaires et des liparites. Le remplissage est toujours du même genre. Arakawa a produit, en 1908, 44 000 t. de minerai donnant 700 t. de cuivre (1,6 p. 100).

Le district métallifère d'*Ashio*, au Nord de Tokio, est le principal du Japon pour la production du cuivre; il fournit seul le tiers de la production totale. Ce gisement est situé dans une zone de paléozoïque et granite, recoupée par des éruptions tertiaires de rhyolite, liparite passant à la dacite, andésite, etc., et semble en relation directe avec ces roches tertiaires dans des conditions qui annoncent déjà celles que nous allons trouver dans le Montana, l'Arizona, le Mexique, etc. Une trentaine de filons, fort irréguliers de direction et d'allure et qu'on a en vain cherché à grouper systématiquement, sont, d'après Yamada, exclusivement encaissés dans la liparite; ils présentent, comme caractère essentiel, une minéralisation de chalcopyrite à gangue quartzeuse, bien qu'il s'y rencontre également d'autres sulfures métalliques, tels que la pyrite de fer, le mispickel, la galène, la blende, etc.

Les filons ont été suivis sur des longueurs qui, pour les principaux, peuvent atteindre 2 km. avec 6 m. de large, ou 1 700 m. avec 1,50 m.

Les mines d'Ashio comportent une installation de préparation mécanique, des stalles et réverbères pour le grillage, des waterjackets pour la fusion et 4 convertisseurs Manhès pour le raffinage; le métal est purifié aux environs de Tokio par la voie électrolytique. La production de 1908 a été de 7 076 t. de cuivre.

A l'Ouest de Kioto (35°; 133° 30′), on trouve encore des filons cuprifères à Yoshioka et Koizumi.

A *Yoshioka* [1], des couches paléozoïques de grauwackes et schistes argileux sont recoupées par des porphyrites amphiboliques et augitiques. Les filons, au nombre de 17 et de directions très variables, sont surtout formés de quartz avec chalcopyrite assez sensiblement argentifère, qu'accompagnent pyrite, pyrrhotine, mispickel, galène, blende, ces deux derniers minerais en faible quantité.

A *Koizumi*, on a des calcaires paléozoïques recouverts par du conglomérat et du tuf porphyritique secondaire : le tout traversé par une roche, qualifiée de porphyrite, qui est sans doute une andésite. Onze filons à peu près parallèles contiennent de la chalcopyrite avec de la galène argentifère, de la pyrite, de la pyrrhotine, du mispickel, de la blende. La présence des calcaires paléozoïques traversés a, sans doute, contribué à la présence de la calcite dans la gangue.

[1] La mine de cuivre de *Yoshioka* aurait été découverte en 807. Elle a eu une première exploitation régulière à partir de la fin du XVI[e] siècle et a été outillée à l'européenne en 1881. Sa production était, en 1908, de 750 t. de cuivre et 1.830 kg. d'argent.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

4° AMÉRIQUE

Butte et Anaconda (Montana)[1]. — La région métallifère du Montana, qui tient la tête de la production américaine, est surtout comprise entre la ville de Butte (fondée en 1877) et Anaconda qui en est éloignée de 30 km.

La série pétrographique commence là par une monzonite quartzifère, sorte de syénite relativement basique ou de granite à pyroxène, qui forme l'ensemble de la région. Elle est traversée par des aplites (quartz et orthose) qui forment le granite de Bluebird, puis par des venues successives de rhyolites, entre lesquelles les filons métallifères viennent s'intercaler. Ces rhyolites semblent avoir formé des coulées assez importantes.

Tous les filons métallifères ont été trouvés dans le granite et non dans la rhyolite, mais souvent au voisinage ou au contact des dykes de cette roche, et il est très vraisemblable qu'il y a relation d'origine entre elles et la métallisation.

D'une façon générale, les cassures sont remarquablement nettes. Dans le détail, elles présentent toutes les inflexions et les bifurcations d'un champ de fractures obtenu par torsion.

Mais, si la cassure est nette, les phénomènes d'imprégnation, peut-être même de substitution, auraient, d'après Emmons, joué un rôle notable. Il n'y a pas, en effet, suivant lui, de véritables épontes; lorsqu'il y en a d'un côté, il n'en existe pas de l'autre, mais on observe un passage progressif du minerai à la roche de moins en moins pénétrée de pyrites; la limite assignée par les mineurs aux filons ne dépend que des conditions d'exploitabilité. Emmons suppose même que le granite a dû être attaqué à partir d'une première fissure étroite, ses éléments basiques dissous d'abord, puis ses éléments feldspathiques.

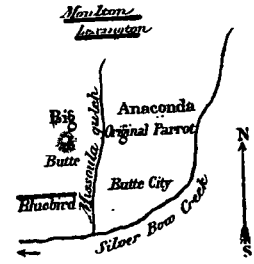


Fig. 310. — Croquis montrant la disposition des gisements de Butte City.

Les principaux filons, presque verticaux, sont de direction E.-W. (Moulton, Lexington, Anaconda, Parrot, Syndicate). Ils sont recoupés par des filons N.-W., puis E.-N.-E.

Les remplissages contiennent surtout, comme éléments industriels, du cuivre, de l'argent et de l'or, avec une proportion variable de ces trois métaux principaux.

On a pu distinguer, à l'Est de la Butte, deux zones principales composées de filons E.-W. avec des inflexions plus ou moins prononcées :

La première, située au Sud, est celle des mines de cuivre, Butte,

[1] 1887. Emmons. *Notes on the geology of Butte, Montana* (Tr. Am. I. M. E., t. 16, p. 49). — 1895. Brown. *The ore dep. of Butte City* (Tr. Am. I. M. E., t. 24, p. 556). — 1897. Emmons. *Econ. geol. of the Butte Distr.* (Geol. Atlas of the U. S.).— 1903. W. H. Weed. *Ore dep. at Butte* (Bull. 213. U. S. geol. Surv., p. 170-180). — 1904. Winchell. *Butte Copper Veins* (Eng. a Min. J., 78 p. 7). — 1908. Simpson. *The rel. of copper to pyrite in the lean copper ores of Butte, Montana* (Econ. geol., t. 3, p. 628). — Voir la statistique. t. 2, p. 625.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Gagnon, Parrott, Anaconda, Moutain View, suivant une ligne générale E.-W., passant par le sommet de la Butte et par la partie Nord de la ville de Butte-City. Les filons, toujours quartzeux, y sont remarquables par leur puissance et leur régularité. Celui de l'*Anaconda*, par exemple, qui est un des plus riches du monde entier, a quelquefois 30 m. de large et en moyenne, 13 m.; il a été reconnu sur 600 m. de long et 600 m. de profondeur. Celui de *Syndicate* a des dimensions analogues.

La mine *Parrot* a exploité, à 230 m. de profondeur, deux veines parallèles de 1 à 4 m., qui se rejoignent à l'Est et semblent prolonger le gîte d'Anaconda.

Au Nord de cette zone cuprifère, on trouve une autre zone E.-W. de mines d'argent avec peu de cuivre, dont les principales sont : Belcher, Risingstar, Moulton, Alice, Lexington, Magna Carta, Valdemar, Granite Moutain, etc. Là, des minerais, dont nous aurons à reparler à propos de l'argent, comprennent des sulfures divers d'argent, plomb et zinc, avec une gangue quartzeuse et une proportion assez forte de silicate de manganèse, qui prend facilement une teinte noirâtre. Aux affleurements, le manganèse avait donné des oxydes noirs, l'argent du chlorure et le plomb du carbonate. La présence du manganèse semble caractéristique de la venue argentifère.

Si nous revenons sur les filons cuprifères, leur forme profonde, qui n'apparaît d'ordinaire qu'à 150 ou 200 m., est caractérisée par l'association de la pyrite, de la chalcopyrite peu argentifère et d'un cuivre gris arsenical, l'énargite, dans une gangue quartzeuse.

La présence de l'enargite a semblé assez caractéristique pour servir de base à la création d'un type spécial dans la classification des gîtes cuivreux[1].

Au-dessus, la zone de cémentation, épaisse d'environ 60 m., comprend de l'érubescite, de la chalcosine et de la covelline, avec une teneur en cuivre trois fois supérieure à celle du minerai originel. On a trouvé là de grosses masses de cuivre gris avec résidu de chalcopyrite et de pyrite dépassant 4,5 m. de diamètre. Enfin, à la partie supérieure, vient, sur 60 à 120 m. de hauteur, la zone d'oxydation, qui ne tient d'ordinaire que 1 p. 100 de cuivre, mais qui est souvent très riche en argent. Dans l'ensemble, le rôle de la circulation des eaux superficielles dans l'enrichissement de ces filons a été capital. La richesse des filons humides, opposée à la pauvreté des filons secs, est passée en proverbe.

Il est à remarquer que la cémentation descend parfois très bas. Il est arrivé de trouver, à la mine East-Gray Rock, une masse de covelline à 330 m. de profondeur. On a même rencontré des minerais d'enrichissement jusqu'à 500 et 600 m. au-dessous du niveau hydrostatique actuel : ce qui paraît impliquer un affaissement du massif où ces filons sont contenus, depuis l'époque récente où cette altération s'est produite.

Les examens microscopiques de Simpson ont montré que, même aux plus grandes profondeurs atteintes, le cuivre se trouve encore en inclu-

[1] On la retrouve à Mancayan dans l'île de Luçon, dans le Cerro de Famatina (Argentine), à Bor (Serbie), toujours dans des gisements associés à des roches acides, rhyolites, dacites.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sions d'érubescite, chalcosine, etc., dans la pyrite, sans association chimique du cuivre et de la pyrite.

Les minerais de Butte sont, en moyenne, des minerais très riches. Dans les débuts, on arrivait à 14 ou 16 p. 100. Un sixième de la production atteignait encore récemment 12 p. 100, et le reste, qui était à 4,8 p. 100, pouvait être concentré à 18 p. 100, avec 20 p. 100 de silice. En 1906, les minerais de l'Anaconda ont rendu 2,83 p. 100.

La teneur moyenne en métaux précieux est d'environ 0,8 gr. d'or et 215 gr. d'argent par 100 kg. de cuivre. Celui-ci contient, en outre, 0,008 p. 100 de tellure.

Ce district, qui remonte à 1877, a produit, jusqu'en 1905, environ 1 550 000 t. de cuivre (142 000 t. en 1909). L'Anaconda seule, qui groupe aujourd'hui les principales mines et qui possède la fonderie de Washoe, avait déjà produit, de 1876 à 1897, 476 000 t de cuivre.

Depuis quelques années, on a restreint la production pour ne pas surcharger le marché, en sorte que le chiffre de 1910 est à peu près celui de 1904 (129 500 t. pour le Montana).

Cerro de Famatina (Argentine).[1] — Les filons de ce district sont en relation directe avec des dacites qui recoupent des schistes argileux. Des filons y contiennent pyrite, chalcopyrite, enargite et blende, avec quelques minéraux d'argent proprement dits dans une gangue de quartz et barytine.

V. — GISEMENTS DE CHALCOPYRITE ET MAGNÉTITE AU CONTACT DES ROCHES ÉRUPTIVES ET DES CALCAIRES

(TYPES BANAT, TRAVERSELLE, OURAL, UTAH, ARIZONA, MEXIQUE)

Les gisements, qui devraient trouver place ici, généralement caractérisés par l'association de la magnétite avec les sulfures dans une gangue de silicates, ont été en partie décrits au chapitre du fer et nous n'aurons qu'à en résumer les traits généraux, en insistant sur ceux où le cuivre s'est trouvé particulièrement développé. Leur caractéristique est la formation d'une auréole d'amas métallisés autour de roches éruptives (syénites, diorites quartzifères, gabbro-diorites, orthophyres, etc.) traversant des calcaires, avec développement habituel d'une gangue silicatée de grenat, pyroxène, etc., renfermant des sulfures métalliques divers et de la magnétite. On y remarque, en même temps, une association fréquente du cuivre avec le plomb et le zinc, dont nous aurons à nous souvenir ultérieurement, et, plus rarement, l'apparition du bismuth ou du molybdène.

Banat.[2] — Dans le *Banat*, l'on a des diorites quartzifères et des gabbrodiorites, d'âge probablement supracrétacé, en tous cas intermédiaire

[1] 1885. Stelzner. *Beitr. zur Geologie der Argentin Rep.* t. 1, p. 216.

[2] Voir plus haut, t. 2, p. 339 à 343 et bibl. — Cf. 1846. Chancourtois. *Fabrication du cuivre à Szaszka et Tsiklova* (Banat) (Ann. d. M., 4e, t. 10, p. 555 et 577). — 1867. Castel. *Sur les mines et usines métalliques du Banat* (Ann. d. M., 6e, t. 16, p. 405). — 1886. B. Sjögren. *Beitr. zur Ken. der Erzlagerst. von Moravicza und Dognacska im Banat und Vergl. ders. mit den Schwedischen Eisenerzlag.* (J. KK. geol. Reichs., t. 36, p. 575).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

entre le néocomien et le miocène. Nous avons déjà signalé des gisements, comme celui du *Bleistock*, où le plomb s'associe au cuivre et celui de *Simon Judas* surtout cuprifère.

Traverselle. — A *Traverselle* et *Brosso*, nous avons vu de même[1] que des amas de magnétite, pyrite et chalcopyrite, avec autres sulfures subordonnés, accompagnent une diorite traversant des bancs calcaires.

Monte Calvi, Campiglia Marittima (Toscane). — Sur la côte de Toscane, un peu au Nord de la ville minière étrusque de Populonia et en face de l'île d'Elbe, se trouve un district métallifère doublement intéressant par ses conditions géologiques et par sa très antique exploitation, quoique sans valeur industrielle actuelle. On y trouve, dans des conditions spéciales, des minerais de fer, cuivre et, accessoirement, étain, avec de la galène et de la blende en relation d'origine probable avec un porphyre quartzifère tertiaire (liparite) et avec des granites de même âge, qui semblent avoir puissamment contribué à la métallisation de toute cette contrée.

Le filon Temperino de Monte Calvi est formé d'un tel porphyre quartzifère à cordiérite, dans lequel s'intercale, soit au centre, soit vers l'une des épontes, un augitophyre. Au contact de ce filon complexe et du calcaire basique métamorphisé, on trouve la zone métallisée, formée à peu près exclusivement d'augite, soit d'un vert noirâtre, soit grise, soit rosée, comprenant des veines d'ilvaïte, de la chalcopyrite, de la pyrite de fer et, plus rarement, de la galène ou de la blende brune avec un peu de fluorine accessoire. Les minerais sont généralement au centre de boules d'augite ayant jusqu'à 2 m. de diamètre, ou dans les interstices des rayons. Les intervalles entre ces boules sont remplis par une gangue de quartz et de calcite.

Oural (Bogoslovsk, Mednoroudiansk, Goumechevsk). — L'Oural présente un certain nombre de gisements classiques, où la chalcopyrite s'associe à la magnétite, avec altération en martite et en sels peroxydés de cuivre. Ces gisements, qui présentent des passages du type Banat au type Kirunavara, ont été, comme les précédents, décrits en principe au chapitre du fer[3]; mais nous avons alors laissé de côté ceux où domine le cuivre, dont l'importance industrielle résulte souvent des phénomènes d'altération. Comme nous l'avons vu précédemment, ce ne sont pas là des ségrégations proprement dites, mais des gîtes de départ immédiat procédant de roches syénitiques à types pétrographiques variables et concentrés à leur voisinage par pneumatolyse sur des fissures : soit dans de simples

[1] Tome 2, page 343.

[2] 1858. Simonin, (Ann. d. M., 5e, t. 14, p. 566, avec carte annexée, pl. 18.) — 1866. Von Rath. *Die Berge der Campiglia* (Z. d. D. g. G., t. 20, p. 307). — 1887. Lotti. *Le roccie eruttive feldspathiche di Campiglia Marittima* (Bol. R. Com. geol. n° 1 et 2, et 1900. *Sulla genesi dei giacimenti* (Bol. geol, n° 4). — 1901. L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 77. — 1901. A. Bergeat. *Beiträge zur Kenntnis der Erzlagerstätten von Campiglia Marittima* (N. J. f. M., t. 1, p. 135).

[3] Tome 2, p. 331 à 334. Voir la bibl. donnée à ce propos, p. 331 et les *Richesses minérales de l'Asie*, p. 549.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

fractures de la roche; soit, de préférence, dans les délits des sédiments voisins (d'où l'apparence de filons-couches). La nature de ces sédiments

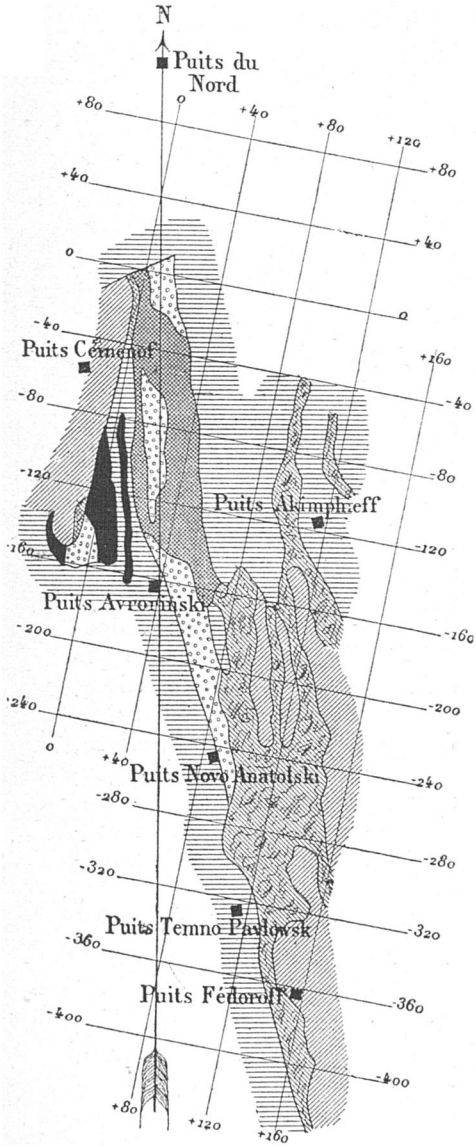


Fig. 311. — Plan de Mednoroudiansk à la profondeur de 95 m.

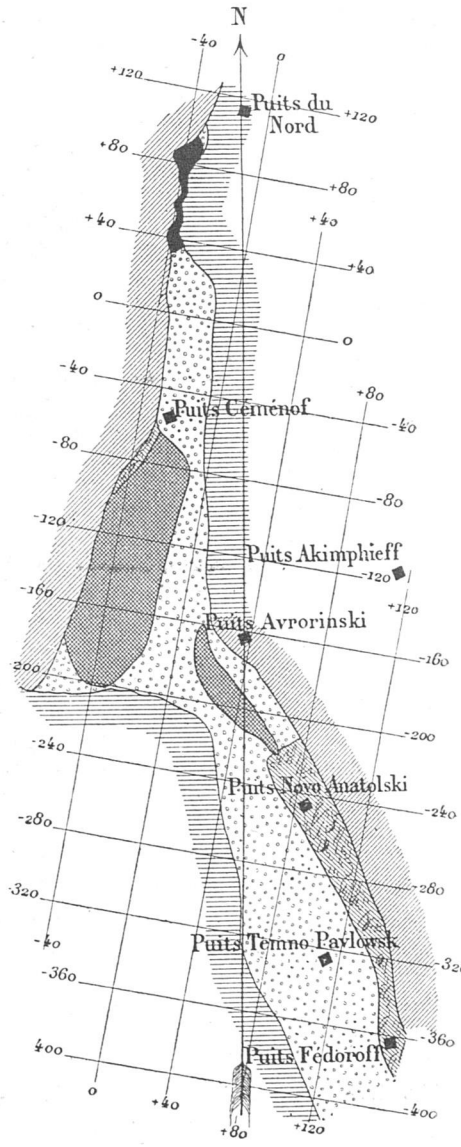


Fig. 312. — Plan à la profondeur de 170 m.

a eu une grande importance sur la minéralisation et les calcaires ont été particulièrement favorables.

En partant du Nord, on trouve à *Bogoslovsk*, sur le 60e degré, des

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

auréoles métallisées autour de granites à amphiboles et de diorites, dans des grès et calcaires dévoniens.

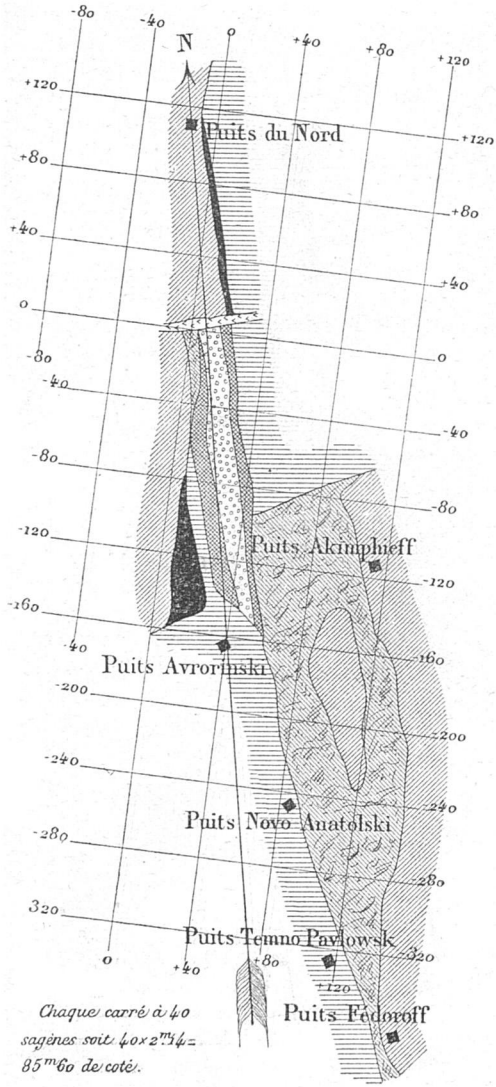


Fig. 313. — Plan de Mednoroudiansk à la profondeur de 199 m.

Les calcaires se chargent de grenat et de pyroxène et, en même temps, de minerais, qui sont, tantôt des sulfures de fer et cuivre, avec un peu de blende, tantôt de la magnétite. On observe les altérations superficielles, habituelles en terrain calcaire : cuivre gris, érubescite, cuivre oxydé et carbonaté, cuivre et argent natif. Enfin les minerais sont recoupés par des porphyrites, montrant, comme dans le gisement précédemment examiné de Troïtsk [1], l'âge primaire, au plus hercynien, des minerais. On a exploité, dans les mines de Frolov, Vasilievsk, Sukhodoisk, Saint-Michel-Archange, etc., des filons atteignant 6 m. d'épaisseur, parfois reliés par des filonnets, qui, dans leur partie oxydée, sur les affleurements, donnaient des minerais tenant jusqu'à 10 et 12 p. 100 de cuivre, tandis qu'en descendant on a eu des pyrites à 3-4 p. 100 de cuivre, comme dans tant d'autres gisements pyriteux.

Ce district, anciennement renommé, a une production décroissante.

La mine *Mednoroudiansk* est située près du Mont Vissokaya, dans le district de Nijni-Traguilsk. Nous avons vu [2] comment les minerais de la Vissokaja se présentent à l'état de veines, nids, amas irréguliers, au milieu des syénites et microsyénites à tendance orthophyrique ayant traversé des calcaires primaires, qu'elles ont transformés en roches à grenat et à épidote. Au Mont Vissokaya, la magnétite renferme un peu de chalcopyrite, en même temps que de la franklinite, du cobalt et du manganèse.

[1] Tome 2, page 326.

[2] Tome 2, page 331.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

En allant de là vers Mednoroudiansk, on rencontre un minerai exploité pour cuivre, qui est une magnétite avec 2 p. 100 de cuivre à l'état de pyrite et 0,77 d'acide phosphorique en apatite.

Enfin, à Mednoroudiansk[1], se trouve une mine importante, dont on a extrait au total, depuis 1814, environ 60 000 t. de cuivre (un millier de tonnes par an dans ces dernières années). On a là, en résumé, comme nous l'avons vu (fig. 311 à 315) une association de magnétite et chalcopyrite avec quelques sels de zinc (franklinite ou blende, etc.), formant un filon de contact entre des calcaires dévoniens et des orthophyres altérés, des tufs orthophyriques et schistes verts. Le développement exceptionnel des phénomènes d'altération superficielle récente donne à ce gisement son aspect particulier et caractéristique. Les travaux, poussés à 200 m. de profondeur, ont continué à trouver la « diorite » de Muller sous la forme

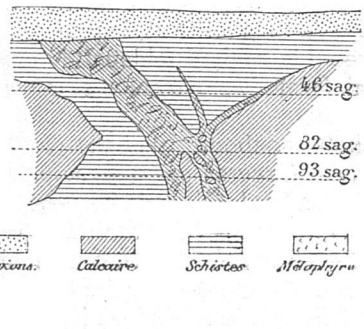


Fig. 314. — Coupe à 20 m. Nord du puits Novo Anatolski (voir fig. 313) perpendiculaire à la longueur du gîte

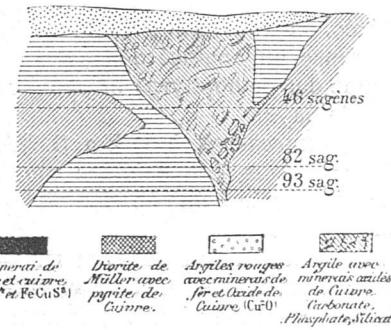


Fig. 315. — Coupe par le puits Temmo Pavlowsk perpendiculaire à la longueur du gîte.

d'une matière terreuse verdâtre contenant du feldspath décomposé et de la chlorite à 1 ou 2 p. 100 de cuivre, avec argile rouge cuprifère au contact.

C'est cette altération qui a transformé tant les calcaires que les orthophyres en des produits argileux, dont la présence a contribué à introduire quelque confusion dans les descriptions. La grande traînée, désignée sur les cartes russes comme argiles (porphyres et tufs désagrégés), de Mednoroudiansk autour du mont Vissokaya, puis vers Lébiéjaya, lui est attribuable et doit présenter, mêlées avec les altérations de porphyres, des altérations de calcaires ayant dissimulé en partie l'importance de ces terrains dans le pays. Quand elle a porté sur les minerais, cette altération a donné, comme d'habitude, des oxydes, carbonates, phosphates, silicates

[1] 1859. P. Iéréméev: *Observations sur les gîtes cuprifères du versant Est de la chaîne de l'Oural* (en russe) (Journ. des mines, t. 4, p. 76). — 1866. Müller. (Berg- und Hüttenm. Zeitung, n° 22). — 1876. Gr. Mayer. *Le gisement de cuivre de Roudiansk* (en russe) (Journ. des mines, 3, 290-299) et *Ueber die Kupfer-Erzlargerstätte Mednoroudiansk am Ural* (Oester-Zeitschr, 1877, n°s 36, 37). — 1878. A. Karpinsky. *Aperçu des richesses minérales de la Russie d'Europe.* — 1888. P. Gladky. *Recherches chimiques et géologiques sur les gîtes de Mednoroudiansk et Vissokaja Gora* (en russe) (Journ. des mines, t. 1, p. 96, 123). — 1893. Fuchs et De Launay. *Gîtes métallifères*, 1, 664 et 2, 247, avec bibl. — 1897. Th. Tchernychev. (Guide du Congrès géol. intern.). — Beck. *Loc. cit.*, p. 689 et bibliographie. — Coll. Ec. d. M. 1950 (Bogoslovsk) ; 2529 Mednoroudiansk.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et sulfates de cuivre, avec du cuivre natif : notamment des blocs célèbres de malachite, qui ont été trouvés dans une poche de décomposition argileuse ayant 120 m. de large au milieu des calcaires disloqués. Quelques minerais enrichis par la cémentation ont donné du sulfure de cuivre, ou covelline. En même temps, le zinc passait en calamine ; le cobalt et le manganèse s'isolaient sous la forme de ces boules noires oxydées que l'on trouve en des cas analogues en Nouvelle-Calédonie, à Vœl Hiradog (pays de Galles), etc.[1] ; le vanadium formait des vanadates ; et la magnétite, ou s'isolait tout simplement, ou se peroxydait et s'hydratait en hématite ou limonite. La présence assez abondante des phosphates de cuivre paraît montrer qu'il existait, associée à la magnétite, de l'apatite qui, par double réaction, a donné du phosphate de cuivre, comme les sulfures de cuivre, avec le carbonate de chaux, donnaient du carbonate de cuivre et du gypse. Si l'on arrivait à dépasser en profondeur cette zone altérée, on trouverait évidemment un gîte de magnétite et de pyrite de fer cuivreuse au contact des calcaires avec les roches feldspathiques du groupe des orthophyres et syénites, qui forment une traînée si marquée dans le pays.

A *Goumechevsk*, à 54 km. S. W d'Iékaterinenbourg, un banc calcaire, intercalé dans des schistes cristallins, est traversé par une roche, qualifiée de diorite à une époque où l'on se servait volontiers de ce nom pour toutes les roches vertes. Au contact, il s'est développé des roches à grenat d'une épaisseur de 6 m. avec des minerais qui semblent formés seulement de sulfures, pyrites et chalcopyrites sans magnétite et qui pénètrent également dans la diorite. L'altération superficielle a joué encore ici un rôle essentiel en produisant, aux dépens du calcaire, une argile, qui remplit une poche, large de 160 m. à la surface et rapidement coincée en profondeur. Dans cette argile, les minerais ont donné leurs produits oxydés habituels : cuprite, azurite, malachite (dont un bloc de 2 800 kg.), brochantite (sous-sulfate de cuivre), hématite brune, etc.

Turkestan Russe[2]. — Le même type Banat existe, comme nous l'avons vu précédemment, dans l'Est du Turkestan Russe, entre le Tien-chan et le lac Balkach, toujours sous la même forme : magnétite et pyrite cuivreuse, parfois avec galène, dans une gangue grenatifère au contact de syénites ou de granites et de calcaire.

Nous avons cité *Sary-Boulak* et *Tchebandy-sai*.

On peut sans doute rattacher au même groupe, quoiqu'avec moins de netteté, les gisements situés dans l'*Alataou de Dzoungarie*, au Nord de Kouldja.

Dans cette montagne, sur la rivière *Borlo*, on observe des veines de chalcopyrite et pyrite atteignant 0,15 m. de large, au contact d'une syénite (parfois pyriteuse) et d'un calcaire, ou dans le calcaire, au voisinage. Dans une veine située en plein calcaire, l'axe est formé de calcite avec pyrites de fer et de cuivre, qui, près de la surface, se transforment en hématite et carbonates de cuivre ; le calcaire, au contact, est recristallisé et pyritisé. Le quartz remplace parfois la calcite dans le remplis-

[1] Voir plus haut, tome 2, p. 571, 606, 616 à 618.

[2] *Rich. min. de l'Asie*, p. 602. Voir plus haut, tome 2, p. 345.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sage. Au contact de la syénite, ces sulfures métalliques se sont disséminés en noyaux irréguliers. La même région renferme, dans des conditions semblables, des amas de magnétite sur la rivière *Artchata*.

Dachkessan (Petit Caucase). — La région très riche en cuivre du petit Caucase, renferme notamment, comme nous l'avons vu dans un autre paragraphe[1], des gîtes à tendance filonienne associés aux roches éruptives tertiaires. Mais un phénomène évidemment connexe a pu, dans d'autres conditions, donner, au contact de syénites, diorites ou diabases et de calcaires, des gisements à gangue grenatifère d'un type Banat bien caractérisé. Tel est le cas pour le gisement de *Dachkessan*, situé au voisinage de la grande mine de Kédabek, qui, elle, appartient à un type plus nettement filonien. On trouve là, en nids, sous une porphyrite ou diabase très riche en oxyde de fer, une formation grenatifère avec pyrite de cuivre et cobaltine.

Japon. — On peut encore rattacher à ce groupe le gîte de *Kamaïchi* au N. E. de la grande île, où, comme nous l'avons vu[2], la magnétite avec chalcopyrite et grenat suit une venue dioritique.

Inde. — Le type Banat semble se retrouver dans l'Inde, au contact d'un massif granitique vers *Hazaribagh* (24° 25′ latitude ; 86° 25′). On a décrit là des mélanges de galène, blende et chalcopyrite, avec du grenat et du pyroxène (coccolite), associés à un calcaire cristallin qui repose sur des schistes à hornblende. Au voisinage, un filon de granite, qui traverse le calcaire, contient lui-même de la galène.

Alaska et Colombie Britannique. — Le même genre de gisements est très fréquent dans l'Ouest Américain, où nous allons en trouver plusieurs de premier ordre.

En partant du Nord, l'île du Prince de Galles, dans le district de *Ketchikan*, renferme divers gisements de cuivre, qui ont été mis en valeur en 1907.

Le cuivre s'y trouve en chalcopyrite, soit en masses irrégulières associées avec de la magnétite, du grenat, de l'épidote au contact de roches éruptives et de calcaires (type Banat), soit en forme de lentilles avec pyrite, quartz et calcite, le long de zones comprises dans les schistes et les grès.

Les minerais de la région de Kotsina sont du même type : érubescite et chalcosine, ou, moins fréquemment, pyrite cuprifère dans des grès broyés et faillés.

A la *Bonanza*, dans la vallée de Chitina, le gisement est formé de chalcosine substituée à du calcaire le long d'une série de cassures, près du contact avec un grès sous-jacent.

Le gisement de *White Horse*, dans le Sud du district du Yukon, est au contact d'une tonalite (qualifiée de granite) avec des calcaires carbonifères. Il s'est développé une gangue de grenat et de diopside salite

[1] Tome 2, pages 685 à 690; Cf. p. 613.
[2] Tome 2, p. 346.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

renfermant des minerais de cuivre et de la magnétite. D'après Beck, la tonalite elle-même renferme un peu d'érubescite avec du fer titané.

En Colombie Britannique, dans le district du *Boundary Creek*, les gisements de Greenwood et de Phénix[1] se rattachent encore au contact de roches tertiaires, qualifiées de diorites, avec des calcaires paléozoïques. On y retrouve la gangue typique de grenat, épidote, hornblende, avec pyrite, chalcopyrite et magnétite.

La teneur en cuivre n'est que de 1,5 p. 100; mais la présence des métaux précieux qui atteint 1,5 gr. d'or et 25 d'argent par tonne, rend ces minerais exploitables. Parfois apparaît la pyrrhotine, mais alors, ce semble, à l'exclusion de la magnétite. L'oligiste est assez fréquent.

Accessoirement on trouve un peu de mispickel, galène, blende, molybdénite et bismuthine.

Des filons d'aplite et de lamprophyre traversent le gisement.

White Knob près de Mac Kay (Idaho)[2]. — Dans ce district, on a, d'après Kemp et Günther, des minerais de cuivre accompagnés de grenat, diopside, wollastonite, épidote, etc., au milieu d'un porphyre quartzifère, qui recoupe des calcaires à leur contact avec un granite et qui, lui-même, est traversé par des filons d'orthophyre. Ces gisements, très singuliers, ont la forme de colonnes ou de tuyaux. On a comparé l'ensemble à un arbre, dont le tronc et les branches, composés d'une gangue grenatifère, seraient à peu près verticaux. Ces branches ont un diamètre allant de quelques centimètres à cinquante mètres. Au grenat s'associent, outre les silicates signalés plus haut, un peu de fluorine, surtout dans les parties hautes. Le quartz y est rare. Les minerais, comme toujours en pareil cas, comportent de la magnétite et, accessoirement, de l'oligiste, associés avec des sulfures divers, chalcopyrite, érubescite, pyrite; et, rarement, blende et galène. A un endroit, on constate, paraît-il, la substitution au porphyre d'une roche grenatifère et métallisée qui contient de la fluorine et autres minéraux avec résidu quartzeux; cet agrégat cristallisé entoure des cavités tubulaires, dont la paroi porte des croûtes de grenat et oligiste, englobant elles-mêmes de la fluorine et de la chalcopyrite. Il nous semble qu'il a dû y avoir là surtout des esquilles de calcaire prises dans le porphyre et métamorphisées ou dissoutes. Les altérations secondaires sont fréquentes et ont, en particulier, donné du chrysocolle.

Bingham (Utah)[3]. — Le grand district de Bingham, au Sud du lac Salé, contient divers gisements de cuivre, associés avec des syénites augitiques (monzonites) au milieu de calcaires du carbonifère supérieur, tantôt devenus marmoréens, tantôt transformés en une gangue grenatifère. C'est dans ces conditions que le calcaire renferme de grandes lentilles de pyrite à 3,30 p. 100 de cuivre, avec pyrrhotine, oligiste, grenat et métaux

[1] 1902. Brock. *Prel. Rep. on the Boundary Creek min. dis.* (Sum. Rep. geol. Surv. of Canada, p. 91-136). — 1902. W.-H. Weed. *Ore dep. near igneous contacts* (Tr. Am. I. M. E., oct. p. 12)).

[2] 1908. Kemp et Günther. *The White Knob Copper dep.* (Tr. Am. I. M. E.; cf. Z. f. pr. G., 1909, p. 180).

[3] 1905. Bouthwell. *Bingham Min. Dis.* (Prof. pap. 38, U. S. geol. Surv.). — Voir plus haut, t. 2, p. 626 et, plus loin, la fig. 404 au tome 3.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

précieux. L'une de ces lentilles, à la mine Highland Boy, atteint 30 m. sur 120 m. Les calcaires sont englobés dans des quartzites; mais les contacts de calcaires et de quartzites ne sont pas intervenus.

Il y a, dans ce même district, des filons de cuivre gris (freibergite, enargite) avec galène et carbonates.

Clifton et Bisbee (Arizona)[1]. — Nous avons vu, à l'occasion de la statistique, quelle est l'importance considérable du district de l'Arizona, qui, avec le Montana, tient la tête de la production cuprifère américaine.

L'exploitation du cuivre en Arizona, commencée vers 1880, a déjà produit 1 200 000 t. de cuivre. En 1909, cet État a donné 133 000 t.

Les deux principaux districts de l'Arizona, Bisbee et Clifton, présentent le cuivre sous la forme de gisements de contact; celui de Clifton, est particulièrement intéressant par ses caractères et par l'étude détaillée qui en a été faite.

Dans le district de Clifton[2], le second en Arizona par sa production, les minerais de cuivre sont liés, comme à Bingham, avec des monzonites granitiques ou porphyriques d'âge supra-crétacé ou éocène, qui traversent en les métamorphisant des terrains divers et, notamment, des calcaires ordoviciens et dinantiens recouverts par du crétacé.

Au contact des monzonites (c'est-à-dire de roches intermédiaires entre les syénites et les diorites) et jusqu'à une distance maxima de 650 m., on a, dans des conditions qui rappellent le type Banat, des gangues silicatées de grenat, épidote, etc., renfermant de la pyrite et des minerais sulfurés de cuivre et de zinc associés à de la magnétite. Plus la roche est siliceuse, plus son action sur les calcaires encaissants a été énergique; dans les schistes, le métamorphisme correspondant est, au contraire, très restreint. La magnétite est parfois assez abondante pour pouvoir être exploitée. D'autre part, un certain nombre de filons quartzeux, généralement pauvres, qui, sous leur forme profonde, contiennent seulement des pyrites de fer et de cuivre sans magnétite, traversent les roches et terrains divers : granite, porphyre et sédiments. Ces filons semblent représenter une dernière phase simplement siliceuse de la venue qui avait commencé par les monzonites cuprifères, de même que le quartz et la pegmatite succèdent ailleurs aux granulites. Leur action sur les calcaires est, en beaucoup plus petit, du même genre. On y remarque l'association de la molybdénite.

Dans les zones supérieures d'altération, les minerais ont été oxydés comme d'habitude en malachite, azurite, cuprite, dioptase, chrysocolle, etc..

Les conditions ne sont pas, au fond, très différentes dans le district de

[1] 1899. Douglas. *The Copper Queen mine, Arizona* (Am. Inst. N. Y. meeting). — 1900. Comstock. *The geology and vein-phenomena of Arizona* (Am. Inst. Canadian meeting. 64 p.). — 1905. Lindgren. *The Copper dep. of the Clifton-Morenci District, Arizona* (U. S. geol. Surv., n° 43, avec bibl. ant.; cf. 1904. Tr. Am. I. M. E.). — 1906. Ransome. (sur Bisbee) (Tr. Am. I. M. E. févr). — 1906. Kellogg, (Ec. geol.). — Voir t. 2, p. 624.

[2] Clifton est sur le San Francisco, un peu en amont de son confluent avec le Gila, près de la frontière du Nouveau-Mexique. Morenci et, à 4,5 km. de là, Metcalf, sont les points principaux du district.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Bisbee[1] au S.E. de l'Arizona, qui comprend les deux grandes mines de Copper Queen et de Calumet and Arizona. Les terrains paléozoïques y ont été plissés en un synclinal et traversés d'intrusions acides rapportées au début du secondaire : en particulier, d'un porphyre granitoïde, auquel se rattachent les gisements. Le long de ce contact, il s'est développé, dans un calcaire carbonifère, des silicates, trémolite, diopside, grenat, vésuviane, etc., avec minerais du type Banat. Plus loin, ces silicates disparaissent ; on a de nombreux filons de porphyre quartzifère recoupant le calcaire et des minerais, souvent localisés au-dessous de ceux-ci, comme dans les gisements de plomb de Leadville, etc.

Les phénomènes de remaniement ont pris l'intensité qui leur est habituelle en terrains calcaires et leurs dépôts secondaires ont incrusté de véritables grottes avec stalactites, ou imprégné des lits d'argile ferrugineuse et manganésifère, dans lesquels on trouve azurite, malachite, cuprite, cuivre natif. Une zone de cémentation a contenu beaucoup de chalcosine.

On peut encore décrire, à cette occasion, le gisement de *Courtland*, dans l'*Arizona*, bien qu'il soit d'un type un peu différent. Ce nouveau district, situé à 56 km. Nord de Bisbee, présente des minerais dans des zones de fractures qui traversent des quartzites et des calcaires superposés, épais d'environ 600 m. Des instrusions de diorite à grain fin et de porphyre quartzifère pénètrent au voisinage dans ces terrains, et les minerais sont intimement liés aux roches éruptives. Leur remplissage en profondeur est un mélange de sulfures de fer et de cuivre à faible teneur dans une gangue quartzeuse.

L'altération secondaire à donné à la surface un chapeau de fer et une zone de cémentation riche, dont on a vite dépassé le fond dans l'Ouest du camp. Là on avait des oxydes de fer et de manganèse avec malachite, azurite, cuprite, etc. Certains minerais de carbonate de cuivre dans une gangue manganésifère ont donné des produits très riches.

Cananea et Nacozari (Sonora Mexicaine)[2]. — Les importants gisements de Cananea, situés au Nord du Mexique et à environ 80 km. Sud de Bisbee en Arizona, semblent, eux aussi, dus en partie à un phénomène de contact.

D'après Emmons, cette région, qui aurait été épargnée par la transgression crétacée, est surtout formée de quartzites et calcaires cambriens, avec une série de manifestations éruptives, dont les dernières, reliées au grano-diorite de Cuitaca, sont considérées comme tertiaires. Les minerais sont surtout en relation avec ces roches, grano-diorite, diorite porphyrique, porphyre quartzifère, etc., et présentent des types variables allant du contact très net au filon caractérisé; ce qui explique les divergences d'opinions à leur sujet.

On cite, par exemple : à Capote, des gangues silicatées métallifères le long d'une diorite porphyrique (mine Democcata), ou le long d'un porphyre quartzifère (Veta Grande); à Puertecitos, une roche de grenat et

[1] 1899. Douglas. *The Copper Queen Mine* (Tr. Am. I. Min. E., t. 29, fév.). — 1903-1904. Ransome. *The geol. and Copper-depos. of Bisbee, Arizona* (Tr. Am. I. M. E., fév. 1903 et profes. pap. n° 21, geol. Surv. Washington, 1904). — Coll. Ec. d. M., 1777.

[2] 1902. Weed. (Tr. Am. Inst. M. E., oct.) — 1910. Emmons. *Cananea min. dist. of Sonora* (Mexico) (Econ. geol., t. 5, n° 4). — Voir la fig. 457, carte minière du Mexique.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'épidote avec chalcopyrite, galène et blende au contact d'un calcaire devenu marmoréen ou silicifié et de grano-diorite.

Ailleurs, dans le même district, les gisements ont pris une forme différente. A Cobre-Grande, c'est un filon dans le porphyre quartzifère ; à la mine Pilares de Nacozari, une brèche de monzonite cimentée par des minerais, qui rappelle les districts de la monzonite de l'Arizona ; aux puits Henriette et Ouluth, un gisement de contact entre deux roches éruptives différentes : diorite et porphyre quartzifère, etc.

Ce district, sur lequel l'attention avait été dès longtemps attirée par ses énormes chapeaux de fer et qu'on a commencé à explorer depuis 1881, a produit, de 1901 à 1905, 86 375 t. de cuivre. Il contribue, pour la plus grande part, à la production cuprifère du Mexique (65 545 t., en 1905) : la Green Cons. de Cananea pour 28 150 t. en 1905 ; la Montezuma Copper de Nacozari pour 12 000 t. en 1906.

Groupe de Mazapil (Zacatecas). — Le groupe de *Mazapil* comprend divers centres miniers : au S.-E., Aranzazu et Conception del Oro ; à l'Est, Albarradon et Bonanza ; au Nord San Pedro de Ocampo ; au NW, El Potrero, qui ont produit plus de 130 millions dans leur exploitation ancienne. Ces exploitations portaient uniquement sur les parties argentifères ou sur les affleurements altérés de pyrites cuivreuses, dont on extrayait du magistral. Un peu plus tard, on retira un peu d'or, également dans les affleurements ; et enfin la Mazapil Copper C[y] a organisé, depuis 1890, l'exploitation du cuivre argentifère et aurifère.

Les gisements de cette région, qui ont de grandes analogies métallogéniques avec ceux de l'Arizona, semblent en relation assez directe avec des roches éruptives à types relativement profonds.

Celui d'*Aranzazu* (El Cobre) est en rapport avec une monzonite quartzifère, qui recoupe des calcaires jurassiques et crétacés : derniers sédiments d'une région dont l'émersion définitive doit remonter au début du tertiaire. Des fractures, en relation probable avec la mise en place de la monzonite, traversent les terrains encaissants, et quelques-unes d'entre elles, ayant une minéralisation semblable, s'encaissent dans la monzonite même comme des fractures de retrait.

Le remplissage de BGPC est surtout caractérisé par la pyrite de fer cuivreuse, la chalcopyrite et la tétraédrite : la galène et la blende étant peu abondantes. Il s'y associe des gangues silicatées, notamment du grenat et de la calcite. Les gisements principaux remplissent, dans la zone de contact du calcaire métamorphisé, devenu marmoréen, ou chargé de silicates, des sortes de cheminées, dont la minéralisation compacte pénètre à côté dans le calcaire encaissant et y disparaît peu à peu. Quelques-unes de ces cheminées ont été trouvées à la surface dans le contact même ; mais, en profondeur, elles s'en écartent pour pénétrer dans le calcaire. Il semble que la plupart d'entre elles aient suivi des intersections de diaclases entre elles ou avec des plans stratigraphiques.

Les minerais d'Aranzazu titrent, en moyenne, 5 p. 100 de cuivre, 240 gr. d'argent et très peu d'or.

[1] 1909. Villarello. *Le mineral d'Aranzazu* (Guide Congr. géol. int. Mexico). — 1909. Bergeat. (N. J. f. M., t. 28).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Au voisinage, le district de *Conception de l'Oro* renferme également des gisements de contact le long de grano-diorites traversant des calcaires avec chalcopyrite, blende et galène dans une gangue silicatée. On y observe, en même temps, des filons d'or.

VI. — FILONS CUIVREUX DE DÉPART ACIDE. ASSOCIATION POSSIBLE AVEC L'ÉTAIN, LE MOLYBDÈNE, LE BISMUTH, LE COBALT, L'OR, LA TOURMALINE, ETC.

Le groupement naturel du cuivre avec l'étain présente un intérêt à la fois géologique et historique, dont il a déjà été parlé au chapitre de l'étain [1]. Nous avons vu alors combien cette association se présente souvent avec un caractère industriel, au Cornwall comme en Bolivie. Au lieu de l'étain, on peut voir apparaître, avec le cuivre, les métaux ou les minéraux que nous avons précédemment rattachés d'une façon plus ou moins directe au groupe stannifère : notamment le molybdène et le bismuth, puis le cobalt dont le rôle métallogénique assez spécial, avec double tendance basique et acide, a déjà été signalé [2]. L'or se développe également parfois dans ces filons de chalcopyrite quartzeuse au point de devenir utilisable.

Par suite de leur association fréquente avec d'autres métaux, beaucoup des gisements qu'il y aurait lieu d'étudier ici se sont trouvés décrits dans des chapitres précédents. Nous nous contenterons, pour ceux-là, d'en rappeler les caractères principaux en insistant seulement sur ce qui se rapporte au cuivre.

D'une façon générale, le groupe dont il s'agit représente un départ acide du cuivre, qu'on peut mettre en contraste avec les ségrégations de roches basiques étudiées au § II. La chalcopyrite à gangue de quartz s'y montre d'ordinaire unie avec des métaux que nous avons appris à trouver surtout dans les venues granulitiques, pegmatoïdes, ou quartzeuses et l'on est ainsi amené à des types filoniens, composés exclusivement de pyrite, chalcopyrite et quartz, d'abord avec tourmaline, puis sans ce minéral boro-fluaté, où tendent alors à s'introduire les sulfures du groupe plombifère, dont nous verrons la prédominance dans le paragraphe suivant VII, de même que le groupe plombifère amène ensuite, comme terme extrême, au groupe mercuriel du § VIII. On remarquera le développement très général de la magnétite, associée aux sulfures dans ces gisements en rapport intime avec les granulites ou avec leurs dérivés, comme elle l'était dans les gîtes de contact du type Banat et comme elle apparaissait déjà dans le type III [3].

Quelquefois, quand disparaissent les métaux du groupe stannifère, on voit persister, avec le cuivre, certains minéraux fluorés, tels que la tourmaline, le béryl, l'apatite, la fluorine, qui suffisent pour accuser les conditions dans lesquelles a dû se faire la métallisation,

[1] Tome 2, p. 1, 11, 22, 72, etc.

[2] Tome 2, p. 578 et 607. Nous avons vu également, dans les groupements précédents des types III et IV, apparaître le molybdène.

[3] Voir t. 2, p. 656, 663, 664.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Scandinavie et Finlande. — Le type d'association, que nous examinons ici, semble spécialement développé dans le Sud de la Scandinavie et de la Finlande, et c'est même la forme principale sous laquelle l'étain et son groupe se montrent à nous dans une partie de cette plateforme primitive. On y trouve le groupement du cuivre avec les métaux du groupe de l'étain, soit dans des gisements de profondeur à type d'intrusions, soit dans des roches acides, soit dans des contacts de granites.

Ainsi divers gisements de la plateforme primitive Scandinave, décrits au § II comme intrusions profondes en rapport avec le métamorphisme régional, présentent, avec le cuivre et souvent le zinc, du molybdène, du bismuth, de l'uranium ou même de l'étain, qui semblent l'indice d'une métallisation liée aux granulites. Nous avons déjà cité, à ce propos : *Kopparstrand* en Suède (molybdène et uranium), *Orijärvi* en Finlande (molybdène), etc.[1].

Dans un autre chapitre, nous avons également signalé l'association cuivre-cobalt-bismuth-molybdène à *Tunaberg*, cuivre-cobalt-antimoine à *Gladhammar*[2].

Nous rappelons enfin, à ce propos, le gisement de *Pitkäranta*, en Finlande, décrit comme gîte d'étain, où l'étain et le cuivre s'associent avec la magnétite et avec divers autres sulfures dans la zone de contact d'un granite rapakivi traversant des cipolins[3]. Avec l'étain se trouvent là le bismuth, le tungstène et la fluorine. La proportion du cuivre à l'étain a été, d'après l'exploitation industrielle, de 12 à 1.

On aurait pu encore mentionner ici les gîtes de la Norvège méridionale (district de *Kristiania*), où, s'il n'y a pas d'étain, on trouve, avec le cuivre, du bismuth, dont le rôle est analogue.

On a exploité autrefois, dans ce district, toute une série de petits gisements situés dans la zone de contact de granites et syénites quartzifères sodiques (nordmarkites) avec des schistes siluriens qu'ils traversent. La magnétite y domine ; mais on y trouve aussi un peu de chalcopyrite, de blende, de galène, ou aussi de bismuthine.

La côte S.W. de Norvège présente d'autres types un peu différents et plus filoniens, où le cuivre peut se trouver encore dans des roches acides associé à de la molybdénite, comme dans divers gisements décrits au chapitre du molybdène, notamment à la mine *Kvina*, au N.-E. du Flekkefjord[4].

Enfin, et toujoure en Norvège médidionale, le même fait se retrouve dans les fentes de retrait de certaines granulites du *Telemark*, où l'on a chalcopyrite, molybdénite, bismuth, tungstène et magnétite[5]. On connaît, dans ce district, des types de gisements assez variés : filons dans

[1] Tome 2, p. 663 et 664.
[2] Tome 2, p. 614.
[3] Tome 2, p. 19 et 20.
[4] Tome 1, p. 787.
[5] 1863. Th. Scheerer. *Ueber die Kupfererz Gangformation Telemarkens* (B. u. H. Z., 1845, p. 854 et 1863, p. 157). — 1871. P. Herter. *Ueber die Erzführung der Telemarkischen Schiefer* (Z. d. D. g. G. t. 23, p. 377). — 1880. Kjerulf. *Die Geologie des südlichen Norwegens* (Trad. allem. de Gurlt). — 1891. Vogt. *Erstforekomster langs gränserne af Kristianias territoriets postsiluriske eruptivfelter* (Geol. fören. förh., t. 13, p. 687-735). — 1895. Vogt. *Zur Klassification der Erzvorkommen* (Z. f. pr. G., p. 149).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le granite à Klovereid ; filons dans les schistes près d'un granite à Aamdal ; filons en barreaux d'échelle dans la granulite de Näsmark ; filons dans une diorite quartzifère et micacée à Svartdal.

On y a décrit des filons de granulite très quartzifère, dont la puissance varie depuis 0,05 m. jusqu'à 8 m., avec de la magnétite, du grenat, de l'apatite, du béryl, etc., où le cuivre, associé à du quartz, se trouve, paraît-il, en nids, en sécrétions et en veines transversales qui ressemblent à des fentes de retrait de la roche. Néanmoins, en général, les filons se prolongent dans les quartzites voisins du granite sans changer d'allure. Le remplissage est formé de quartz gras, chalcosine et cuivre panaché, avec molybdénite, chalcopyrite, magnétite, oligiste, or et argent natif, parfois un peu de bismuth telluré (ces derniers minéraux plus rares).

En profondeur, tous les filons du Telemark sont devenus inexploitables.

Cornwall. — Les gisements stannifères du Cornwall, que nous avons décrits longuement[1], sont tout à fait typiques pour l'association de l'étain, du tungstène et du cuivre. On sait que le cuivre y a nettement diminué en profondeur. C'est un fait si fréquent qu'il est permis d'en chercher la loi et de l'attribuer à un effet de cémentation ayant enrichi les parties hautes.

Schneeberg, Sainte-Marie-aux-Mines, etc. — On peut encore rappeler l'intervention du cuivre dans tout le groupe des filons de cobalt argentifère à gangue quartzeuse avec bismuth et uranium[2].

Geilsdorf et Olsnitz (Vogtland). — Les filons du Vogtland sont surtout des filons de sidérite, auxquels peut s'associer la chalcopyrite comme dans tout le groupe Allevard ; mais quelques-uns sont, en même temps, très riches en fluorine, parfois accompagnée de barytine. Le même district du Vogtland, où ont été exploités ces filons de cuivre à gangue de fluorine, a fourni, de 1511 à 1532, des minerais d'étain, en sorte que ce gisement peut être rapproché des groupements stannifères.

Riesengebirge. — Nous avons vu, à propos du cobalt, que les zones d'imprégnation archéennes de Querbach et Giehren présentent l'association cuivre-cobalt-étain avec de la magnétite et un peu de galène et de blende[3].

Dobsina (Haute-Hongrie). — Les filons de Dobsina présentent une association de chalcopyrite et fer spathique avec minerais de nickel, de cobalt et tourmaline[4].

Murtschenalp (Glaris). — Au Sud du lac de Wallenstadt, dans un conglomérat probablement permien, on a, à Murtschenalp, une association de

[1] Tome 2, p. 20 à 31.

[2] Voir plus haut, tome 2, p. 615.

[3] Tome 2, p. 614.

[4] Tome, 2, p. 601.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

chalcopyrite, cuivre gris, oligiste, avec molybdénite. De la chalcopyrite faiblement aurifère reparaît près de là au Felsberg, dans le Calanda.

Waschgang (Carinthie) [1] — On peut citer comme exemple de chalcopyrite aurifère les mines de *Waschgang* situées près de Döllach, dans la vallée de la Möll, au Sud du Gross Glockner. Ce sont des filons de quartz, avec mouches plus ou moins abondantes de chalcopyrite, contenant une certaine proportion d'or, variable avec celle du cuivre. Un minerai à 17 p. 100 de cuivre renferme 0,004 d'or à la t.; un minerai à 3 p. 100 de cuivre donne 0,002 d'or à la t.

Les gîtes de *Gross Fragant* sont situés à 10 km. de la gare de Saxenburg (entre Linz et Villach), dans la même région. Les minerais jaunes à 20 p. 100 de cuivre renferment 0,005 p. 100 d'or et 0,06 p. 100 d'argent; ceux à 9 ou 10 p. 100 de cuivre, 0,0024 d'or et 0,02 d'argent; enfin ceux à 4 p. 100 de cuivre, 0,001 d'or et 0,01 d'argent.

Nous aurons à en reparler au chapitre de l'Or.

Monte Mulatto et Mezzavale (Tyrol). — Près de Bedovina, sur le flanc Sud du *Monte Mulatto*, le mélaphyre est traversé par un système de filons N.-N.W. renfermant du quartz, du feldspath et de la tourmaline avec des pyrites de cuivre et de fer, de l'apatite et de la schéelite. On a donc ici le groupement du cuivre et du tungstène avec un minéral boro-fluoré dans une gangue de nature granulitique.

De même, à *Mezzavale*, près Predazzo, nous avons vu [2] que des nids pegmatoïdes du granite à tourmaline contiennent de la chalcopyrite avec quartz, orthose, albite, tourmaline et fluorine. La galène apparaît rarement dans ces deux gisements.

Arrieta (Pyrénées). — D'après Stuart Menteath [3], dans le trias d'Arrieta (région de Roncevaux), des filons de cuivre gris contiennent de même un peu d'étain et sont en relation possible avec des granites. Suivant cet auteur, au grand filon d'Arive, le cuivre s'associerait, par contre, au mercure.

Caucase et Arménie. — Le type des filons cuivreux avec association de molybdène est connu dans la zone paléozoïque du Caucase, en Kakhétie. On signale, à Télav, dans les schistes anciens, des filons-couches atteignant rarement 5 m. de large, où, dans un remplissage quartzeux, dominent les pyrites de fer et de cuivre avec de la molybdénite et, par un rapprochement plus anormal, quelques sulfures de nickel et de cobalt.

La même association existe dans le petit Caucase, à Novo-Bayazet, près de l'usine de Miskhan, et dans le Zanghezour, où nous l'avons déjà décrite [4].

En Arménie, on connaît : à Migri et à Hedjenan, l'association du cuivre et du molybdène; à Angert, l'association du cuivre avec l'étain.

[1] Notice de Rochata en 1876.

[2] Tome 2, p. 641.

[3] 1909. *Sur les gis. métal. des Pyrénées-Orientales* (Biarritz).

[4] Tome 2, page 689.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La même région caucasique, où se présentent ces associations locales de l'étain ou du molybdène avec le cuivre dans une série directement reliée aux roches d'intrusion superficielle, offre également plusieurs cas typiques d'association avec le cobalt, notamment le gîte de Dachkessan qui a été décrit plus haut[1].

Angola[2]. — Le Sud de l'Angola comprend, entre le port de Mossamedes et la Sierra da Chella, des gîtes de quartz cuprifère et tourmaline en rapport avec des filons d'aplite et de pegmatite dérivés du granite. Les pyrites de fer et de cuivre sont finement disséminées dans le quartz et leur enrichissement secondaire à la surface est seul devenu exploitable.

Otyozonyati (Afrique Sud-Occidentale allemande)[3]. — En ce point, on trouve, comme nous l'avons vu[4], dans les gneiss à fahlbandes pyriteuses, des filons de quartz, feldspath, rutile et minerais de cuivre, qui rappellent certains types scandinaves. Là où ces filons traversent les fahlbandes, ils s'enrichissent en métaux précieux.

Transvaal. — Le Transvaal présente un certain nombre de gisements, qui nous semblent devoir être rattachés à ce groupe. Dans ce pays, une association intéressante de cuivre et de cobalt, tantôt avec un peu d'or, tantôt avec un peu d'argent, se rencontre, en divers points, en relation probable avec des roches éruptives (norite ou diabase). Ainsi, à la base de la série du Bosclîveld, on connaît des norites métallifères. Sur la propriété *Laatste-drift*, district de *Middelburg*, les filons, encaissés dans la norite (se rattachant, par conséquent, au type précédent de Scandinavie), renferment de la pyrite, de la chalcopyrite, et de la smaltine avec forte teneur en or. *A Rhenosterhoek*, dans le même district de Middelburg, un filon analogue est entièrement rempli de pyrite massive très pure et la norite encaissante est complètement imprégnée de sulfures.

De même, le granite porphyrique rouge à anorthose renferme, à 85 km. E.-N.-E. de Prétoria, dans la région de *l'Albert-Silver mine*, un certain nombre de filons de cuivre argentifère, associés avec des diabases. A l'Albert-Silver mine, le filon Est-Ouest contient : quartz, fer oligiste, érubescite (avec 1 250 gr. d'argent par t.), chalcopyrite, cuprite, chalcosine, azurite et malachite. La découverte, 100 m. plus loin, d'un filon d'étain, contribue à rattacher ce gîte aux précédents. Sur la propriété *Roodepoort*, un filon analogue présente une gangue de sidérose riche en magnésie et en manganèse.

On peut également rappeler à ce propos les associations du cuivre avec le cobalt ou le molybdène signalées à l'occasion de ces métaux[5].

[1] Tome 2, p. 705.

[2] Beck. *Loc. cit.*, 1, 319.

[3] 1904. Voit. *Beit. z. Geol. d. Kupfererz Geb. in Deutsch. S. W. Afrika* (J. d. K. pr. geol. Landesanst., t. 25, p. 421-427).

[4] Tome 2, p. 668.

Tome 2, p. 615.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Katanga (Congo Belge)[1]. — Nous rattachons tout à fait hypothétiquement à ce groupe les gisements du Katanga, dont on ne connaît encore et dont on ne connaîtra sans doute longtemps que la forme d'altération oxydée, mais qui, par leur origine première, nous semblent se rapporter à un type filonien cupro-stannifère, également représenté dans la même région, par des filons d'étain.

Situation et industrie. — Les gisements du Katanga, déjà signalés par les premiers explorateurs du pays, Livingstone, Cameron, etc., puis, en 1891, étudiés par l'expédition Cornet, ont suscité, dès que la région est

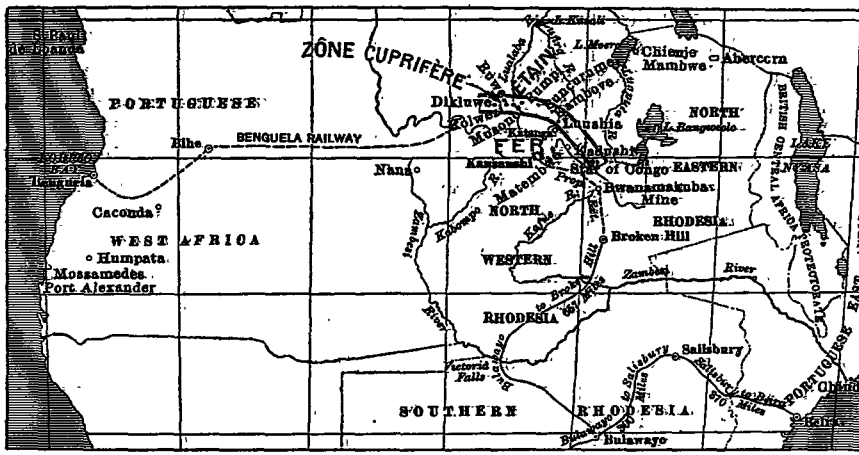


Fig. 316. — Carte de la zone cuprifère et stannifère du Katanga.

devenue abordable, un enthousiasme qui fut d'abord un peu vague. Aujourd'hui les missions s'y succèdent; les sondages ont déterminé

[1] Voir un historique dans le mémoire de J. Cornet sur les gisements métallifères du Katanga (Mém. de la Société des Sciences du Hainaut, 1894) et la bibliog. suivante :

Publication de J. Cornet sur le Congo : 1894. *Die geologischen Ergebnisse der Katanga-Expedition* (Petermanns Mittheilungen). — 1894. *Les formations post-primaires du bassin du Congo* (Ann. Soc. géol. Belg., t. 21, 87 p. et carte géolog. en couleurs). — 1894. *La géologie de la partie S.-E. du bassin du Congo et les gisements métallifères du Katanga* (Rev. univ. des mines, t. 28, 3e série, p. 217, 74 p. et 2 pl.). — 1894. *Les gisements métallifères du Katanga* (Mém. de la Soc. des Sc. du Hainaut). — 1896. *Les dépôts superficiels de l'érosion continentale dans le bassin du Congo* (Bul. Soc. belge géologie, t. 10, p. 44 à 116). — 1896. *Observations sur la géologie du Congo occidental* (Bul. Soc. belge géol., t. 10, 10 p.). — 1897. *L'âge de la pierre dans le Congo occidental* (Bul. Soc. anthrop. de Bruxelles, t. 15). — 1897. *Observ. sur les terrains anciens du Katanga* (Annales Soc. géol. de Belg. *t.* 24). — 1897. *Etudes sur la géologie du Congo occidental entre la côte et le confluent du Ruki* (Bul. Soc. belge géologie, t 11, p. 311 à 377). — 1901. *Notes sur les roches du mont Bandupoi et du Haut Uellé* (Bul. Soc. belge géol., t. 12. p. 26). — *La Géologie du bassin du Congo* (Bull. Soc. belge géol., t. 12). — 1903. L. De Launay. *Richesses minérales de l'Afrique.* — 1904. Buttgenbach. *Les gisements de cuivre du Katanga* (An. Soc. géol. de Belg., t. 31, p. 515-560). — 1908. Fanell. *The Copper and Tin deposits of Katanga* (The Eng. and min. J., t. 85). — 1912, *Le Katanga et l'Afrique nouvelle* (La Nature, n° 1882, 20 mai, avec carte). — *The Mineral industry, passim.* Le vol. de 1907, contient une carte, p. 314. — Rapports de la Tanganyika Concession.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'épaisseur des principaux gisements; on a même abordé la confection d'une carte géologique détaillée, et l'on commence à pouvoir préciser les ressources du pays.

Il est probable maintenant que le Katanga sera un jour, peut-être dès 1920, l'un des principaux centres cuprifères du monde, malgré son éloignement des marchés industriels qui le mettra longtemps en état d'infériorité.

C'est, à ce qu'il semble, dans cette Afrique Centrale, dont les chemins de fer commencent à perforer la masse compacte, le pendant de ce que pouvaient être l'Arizona il y a un demi-siècle, le lac Supérieur quarante ans plus tôt, avec des facilités de mise en valeur rapide que l'on n'avait pas encore à cette époque. Depuis le 1er octobre 1910, la ligne du Cap au Caire y aboutit et les exportations de cuivre en Europe ont commencé en 1911. L'union minière du Haut Katanga, qui s'est formée à Bruxelles en 1907 pour exploiter ces gisements et la Tanganyika Concession [1], depuis longtemps propriétaire de la mine Kansanshi, travaillent déjà activement.

Assurément, l'organisation des vastes exploitations que comportent ces gisements, présente des difficultés évidentes : situation géographique; nature oxydée des minerais ne se prêtant pas à une concentration par l'eau ; traitement délicat; haut prix du coke, etc. Mais la teneur est si élevée et les conditions d'exploitation doivent être si économiques que l'on espère néanmoins arriver à un prix de revient assez bas pour permettre de supporter ensuite le transport. Parmi les principales mines, l'Etoile du Congo pense marcher sur le pied de 30 000 t. ; Kambove produira 15 à 20 000 t. ; Kansanshi à peu près autant.

On table sur un prix de revient de 400 fr. la t., soit 650 fr. une fois rendu en Europe par Beira.

Le pays, situé à 1 500 m , est très sain et son climat comparable à celui de l'Arizona et du Nouveau-Mexique.

Géologie. — La zone cuprifère part à l'Est de l'Etoile du Congo pour se diriger vers l'Ouest en laissant Kansanshi au Sud par Kadushi, Luushia, Kambove, Buncurume, Pump (où se trouvent des gisements d'étain), Kolwezi et Dikluwe, sur 300 km. de long (fig. 316).

D'après la description de Cornet, ramenée à ses traits essentiels [2], les gîtes de cuivre du Katanga se trouvent, pour la plupart, dans un système de grès, schistes, conglomérats et calcaires, peut-être dévoniens moyens ou dinantiens, dont, en l'absence de toute espèce fossile dans cette immense région du Congo, il est impossible de préciser l'âge, mais que, par une assimilation hypothétique, Cornet, dans ses derniers mémoires, a proposé de rattacher au silurien. On aurait là, suivant ce géologue (au-dessus d'un archéen peu représenté et en discordance avec lui), un précambrien, constitué par des quartzites et des phyllades; puis un cambrien, où les phyllades dominent et enfin un silurien, moins métamorphique que

[1] La Tanganyika possède la moitié des actions de l'Union minière, 40 p. 100 de la compagnie des chemins de fer de Katanga, 90 p. 100 de celui du Benguela qui doit, en 1913 ou 1914, relier directement le Katanga à l'Océan, etc.

[2] On trouvera tous les détails sur ces gisements dans la brochure de Cornet sur les *gisements métallifères du Katanga* (1894, p. 29 à 43).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

les terrains précédents, caractérisé par l'apparition du calcaire en bancs épais et par la présence des cherts oolithiques.

Au milieu de ces terrains se présentent des formations cuprifères, qui, tantôt, prennent la disposition de filons-couches interstratifiés, tantôt coupent les terrains à angle droit et qui, d'une façon générale, affectent une allure zonée et laminée comme des sédiments. A défaut de renseignements plus précis, nous voyons là la zone superficielle disséminée d'un système filonien à gangue siliceuse, qui est peut-être en relation avec les venues stannifères de la région voisine.

Le minerai pratique, qui est un minerai d'altération, existe en petits amas, en minces couches discontinues, en enduits, imprégnations, remplissages de fentes, de fissures et de joints de stratification dans des schistes siliceux, quelquefois talqueux, généralement de couleur claire, tantôt très cohérents, tantôt friables et dans des bancs, alternants avec ces schistes, d'une roche assez spéciale, se présentant comme un quartzite carié, caverneux, pénétré de quartz cristallisé. Les couches à malachite sont généralement à peu près verticales et, par suite de leur plus grande résistance aux actions dénudantes, elles forment de petites collines, qui contrastent avec le reste du pays par leur aridité.

Ces minerais, tels qu'on les voit, sont exclusivement des minerais oxydés à gangue siliceuse, surtout des malachites, avec un peu d'azurite et de chrysocolle. Les minerais sulfurés, dont ils ont dû parvenir originellement, apparaissent à peine et il n'est même pas certain que la transformation se soit faite sur place. Sur les affleurements, on trouve une large masse de quartz poreux, stérile par lui-même, mais renfermant des noyaux oxydés faciles à tirer ; il s'y présente aussi ce qu'on appelle un grès laminé à zones métallisées.

Les teneurs sont naturellement variables suivant les points. La silice est généralement abondante. Les métaux précieux ne sont pas en quantités utilisables. Un certain nombre de tunnels d'exploration sont restés de 80 à 100 m. dans les minerais, parfois plus longtemps.

L'*Etoile du Congo* est à 60 km. de la frontière de Rhodesia et déjà on y arrive en chemin de fer du Cap ou de Delagoa Bay par Buluwayo, Victoria Falls et Broken Hill. Le pays étant plat, on est amené à y travailler par tunnels. Le minerai riche a été reconnu sur 600 m. de long avec 30 m. de large, et plusieurs puits y dépassent 30 m. de profondeur. On espérait y produire, en 1912, 2 000 t. de cuivre par mois. La mine forme quatre lits parallèles.

Kambove offre un remarquable gisement de près de 1 km. de long, exploitable à ciel ouvert, que des tunnels ont traversé sur 80 à 90 m., dont un tiers à un demi en minerai à haute teneur. On estime pouvoir en sortir de grandes quantités de minerai à 15 p. 100 de cuivre et 20 à 30 p. 100 de silice libre.

Kolwezi est un beau gisement que les indigènes ont travaillé sur 500 m. de long et où on trouve également des minerais à 15 p. 100 pouvant être amenés à moins de 30 p. 100 de silice.

Enfin, à l'Ouest, se trouvent, près des rivières Lualaba et Dilkulwe, des gisements considérables, mais ne contenant que 6 à 8 p. 100 de cuivre et 50 à 60 p. 100 de silice : ce qui, pour longtemps les rend inutilisables.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Boundary (Colombie Britannique). — Nous avons vu[1] que ce gisement de contact avec des diorites (type Banat) présentait du molybdène et du bismuth avec du cuivre dans une gangue silicatée. Près de Princeton, des pegmatites renferment de l'érubescite.

Clifton Morenci (Arizona). — Les filons de Clifton Morenci, qui semblent l'exagération siliceuse des venues de monzonite cuprifère du même district, peuvent être également rappelés ici[2] comme renfermant souvent, avec la chalcopyrite, un peu de molybdénite.

Muleye (Basse-Californie)[3]. — L'association du cobalt et du cuivre se retrouve à Muleye, en Basse-Californie, avec développement de manganèse par altération superficielle. On a là, dans des tufs tertiaires gypseux, de la chalcosine cobaltifère et manganésifère avec gypse et, au voisinage, de la psilomélane légèrement cuprifère.

Ica (Pérou)[4]. — Un assez grand nombre de gisements de l'Amérique du Sud peuvent être rangés dans ce groupe : notamment dans le Sud du Pérou, à Ica, en Bolivie, et au Chili. La plupart des gisements péruviens sont, avant tout, argentifères et seront examinés au chapitre de l'argent. Nous n'en décrirons qu'un ici.

La région cuprifère d'*Ica* (14° lat.) a été mise en exploitation en 1873-75 et a donné, jusqu'en 1905, 23 800 t. de cuivre, avec une période d'abandon de 1884 à 1899 ; après quoi, les mines ont été de nouveau délaissées. La zone métallisée, située à l'Est d'Ica, comprend des diorites labradoriques, qui s'étendent au loin, suivant la crête vers le S.E., tandis que la plaine est occupée par des sédiments pliocènes presque horizontaux et que l'on trouve à l'Ouest des basaltes. Ce massif de diorite labradorique, qui passe à la diorite quartzifère, présente quelques filons d'andésite amphibolique et de labradorite. C'est au milieu de lui que se trouvent les veines cuprifères, dont les centres principaux sont ceux de San José de los Molinos, Canza, Tingue et Yauca.

Les minerais de cuivre occupent des fractures ou des faisceaux de veines parallèles, où la minéralisation affecte une disposition columnaire. C'est ainsi que l'on a exploité, à la mine Narducci, une colonne longue de 60 m., large en moyenne de 1,50 m., avec des teneurs en cuivre atteignant 25 p. 100.

A Tingue, la mine Perou comprend deux veines distantes en moyenne de 2 m. et reconnues sur 800 m. de long. Mais le minerai utilisable à 10 p. 100 de cuivre y occupe seulement 50 m. de long, avec une puissance allant de 0,80 m. à 1,50 m.

En principe, on a, à la surface, la zone oxydée avec limonite, malachite, atacamite, cuprite et chrysocolle ; puis une zone de cémentation avec chalcosine, covelline, érubescite et chalcopyrite, associées à de la pyrite

[1] Tome 2, p. 705 et 706.

[2] Voir plus haut, t. 2, p. 707.

[3] 1899. Krusch. *Ueber Manganhaltige Kupfererzgänge* (Z. f. pr. G., p. 83).

[4] 1878. Raimondi. *Minéraux du Pérou.* — 1905. G. Fuchs. (Bol. Cuerpo Ing. Minas Peru, n° 29).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de fer et à du mispickel. Certains de ces minerais tiennent 5 gr. d'or à la tonne. G. Fuchs cite la présence de la tourmaline que nous allons retrouver au Chili.

Bien que l'on soit descendu à 150 et 200 m. dans quelques filons, on n'a pas vu disparaître les formes de cémentation.

Chili (Taltal, Coquimbo, Tamaya, etc.) et Bolivie[1]. — Nous aurions pu décrire ici l'importante région cupro-argentifère de la *Bolivie*, dont nous avons déjà parlé plus haut au chapitre de l'étain (Cerro de Pasco, Huanchaca, etc.)[2]. Nous avons préféré reporter ce qu'il nous reste à en dire au chapitre de l'argent, où un paragraphe spécial sera consacré à ces minerais de cuivre très argentifères. En deux mots, on peut dire que cette formation métallifère est caractérisée par le cuivre gris argentifère et la chalcopyrite, avec association d'étain, de bismuth et souvent de sulfures complexes.

Nous allons, au contraire, étudier les gisements du *Chili*, très connus pour leur importance industrielle et pour leurs beaux minerais de malachite, atacamite, chrysocolle, cuivre natif, cuprite, etc. Bien que ces gisements soient, jusqu'ici, assez mal connus scientifiquement, il semble cependant possible d'affirmer leur relation générale avec ce qu'on appelait autrefois des roches vertes ou des diorites, notamment avec des syénites et diabases porphyriques d'âge crétacé ou tertiaire. Il aurait donc pu y avoir lieu d'en décrire la plupart au paragraphe IV, en réservant pour le paragraphe V quelques gîtes de contact à gangue silicatée, comme Panulcillo. Le groupement magnétite et chalcopyrite, qui y est fréquent, est celui que nous avons observé à Traverselle, etc. L'état de nos connaissances ne permettant guère d'établir des subdivisions, nous avons préféré les grouper tous ensemble dans ce paragraphe en raison de l'association très fréquente de la tourmaline avec le cuivre (parfois avec anatase ou rutile).

Au Chili, une zone cuprifère suit le long de la côte entre El Cobre (24°,15′) et Chañaral (26°,26′)[3].

[1] 1855. *Mines de Cobija en Bolivie* (Ann. d. M., 5e, t. 11, p. 695). — 1863. *Mines de cuivre et d'or de Remolinos au Chili* (Bull. Ann. d. M., 6e, t. 5, p. 510). — Pissis. *Plano topografico y geologico de la republica de Chile*. — 1887. V. Groddeck, *Ueber Turmalin enth. Kupfererze von Tamaya* (Z. d. D. g. G.) — 1888. Rémaury. *Prod. du cuivre*, p. 14. — 1890. Washington Lastarria. *L'ind. min. au Chili*. — 1897. Stelzner. *Ueber die Turmalinführung der Kupfererzgänge im Chile* (Z. f. pr. G., p. 41). — 1897. Möricke. *Die Gold, Silber und Kupfererzlag. in Chile* (Freiburg Ber. Naturf. Ges., 49 p.). — 1898. Nordenskiöld. *Sur quelques gis. du désert d'Atacama* (Bull. Inst. geol. d'Upsal). — 1902. L. De Launay. *Une mine de couperose au Chili* (Copaquire) (La Nature, 28 juin). — 1902. Oehmichen. *Sur le sulfate de cuivre de Copaquire* (Z. f. pr. G., p. 147, 151). — 1902. A. Endler. *Das Kupf. von Amoranas Copiapo* (Z. f. pr. G., p. 293). — 1908. Sample. *The Cerro de Pasco Min. dist. Peru* (Eng. and Min., 18 janv.). — 1908. Hawxhurst. *The Poderosa Copper mine, Collahuasi, Chile* (Eng. a min. J., 7 mars). — Coll. Ec. d. M., 1953 (Tamaya); 2791 (Vittador); 1312, 1341, 1349 à 1351.

[2] Tome 2, pages 69 à 74.

[3] Voir la carte du Pérou, de la Bolivie, etc., fig. 467. — On a essayé, vers 1901, d'exploiter une mine de couperose dans la région désertique des Andes à Copaquire (Tarapaca, 21°) où se trouvent des terrains imprégnés de sulfate de cuivre (1902. L. De Launay. La Nature, 28 juin).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

A *El Cobre*, le gisement est associé à une porphyrite diabasique, souvent assez imprégnée de cuivre pour être exploitable. Le minerai contient : cuivre gris, chalcopyrite aurifère, or natif et produits d'altération. Stelzner y a reconnu l'anatase.

A *Taltal* (25°,28'), le gisement, associé à de la syénite, à de la porphyrite diabasique et, sans doute, à du gabbro, comprend, en grandes masses, un agrégat particulier nommé taltalite, dans lequel de l'hématite rouge, de l'atacamite, de la malachite, du chrysocolle, sont associés avec de la tourmaline, de l'anatase, du rutile et du quartz.

Dans la province de Coquimbo, la Cordillère de la Côte comprend les gîtes de la Higuera, Coquimbo et Tamaya.

A la *Higuera* (29°,31'), des filons, encaissés dans des diorites grenues, comprennent une association caractéristique de chalcopyrite, magnétite et tourmaline, avec leurs produits d'altération.

A *Coquimbo* (29°,54'), on retrouve, en rapport avec des roches analogues (diabases, porphyrites, etc.), de la chalcopyrite ou de l'érubescite et parfois (mine las Campanillas) de la tourmaline.

Les filons particulièrement riches du *Cerro de Tamaya* (30°,30') se trouvent dans des gabbros et porphyrites augitiques à plagioclase abondant, qui appartiennent à la « formacio granitica » de Domeyko. Le filon principal a de 2 à 3 m. de puissance. On y a observé la succession très nette des minerais oxydés (métal de color), puis de l'érubescite dans la zone de cémentation, avec polvorilla ou matière ferrugineuse pulvérulente à grains d'érubescite, enfin de la pyrite avec chalcopyrite. Von Groddeck y a reconnu l'abondance de la tourmaline. L'or natif y existe en houppes.

A *Panulcillo* (30°,28'), le gisement a la forme des amas de contact à gangue silicatée. La chalcopyrite et la magnétite y accompagnent du grenat. Domeyko a signalé également ici de la tourmaline dans les roches voisines.

Enfin, dans la province de Santiago, entre Valparaiso (32°2') et Santiago (33°,26'), se trouvent encore de nombreux gîtes cuprifères, Tiltil, Batuco, Lampa, Las Condes.

A *Tiltil* (33°,8'), l'une des mines est dans un gabbro à grain fin, l'autre dans une porphyrite andésitique et augitique. A *Batuco* (33°,15'), on a des diabases amygdaloïdes et des porphyres. A *Lampa*, on a une diabase altérée très riche en minerais. A *Peralillo*, un filon de 1,50 m. contient, en profondeur, de grandes masses ferrugineuses riches en tourmaline, avec schéelite, cupro-schéelite, et molybdénite : par conséquent, un groupe stannifère bien caractérisé.

Las Condes (33°,26') est situé beaucoup plus loin de la côte, à environ 90 km. Est de Santiago, dans la Cordillère du même nom. Les minerais, associés avec des porphyrites andésitiques, forment un stockwerk, dans lequel abonde le quartz tourmalinifère avec le quartz, l'anatase et l'oligiste [1]. On a retrouvé encore ici de la molybdénite au voisinage.

L'ensemble de ces minerais chiliens est très riche ; on ne les traitait

[1] La mine de *San Juan*, également au Chili, est encore caractérisée par l'association du cuivre, du cobalt et de la tourmaline (voir tome 2, p. 615).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

guère autrefois à moins de 12 à 15 p. 100 de cuivre et aujourd'hui encore la teneur reste souvent de 5 à 7 p. 100.

D'une façon générale, on peut dire que le Chili est un des pays du monde qui renferment le plus de cuivre[1]. Malheureusement la difficulté des transports a, en général, forcé à abandonner tous les minerais pauvres sur le carreau de la mine pour ne traiter que les minerais riches et comme, pour arriver à ces zones riches, il faut généralement traverser de longues zones de minerais mouchetés, dits *rameos*, il en est résulte une perte assez considérable.

Aussi existe-t-il, dans les régions cuprifères, en particulier dans la province de Coquimbo, d'immenses haldes qu'on a tenté de préparer mécaniquement; mais les procédés de lavage mécanique ne s'appliquent qu'avec des pertes énormes aux schlamms et aux minerais oxydés. La méthode tout indiquée serait celle par cémentation, comme en Espagne, si l'eau était plus abondante. On a cependant essayé d'introduire ce procédé.

La Prugne (Allier)[2]. — Nous rapprocherons des gisements précédents

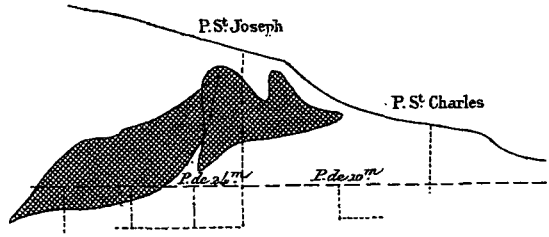


Fig. 317. — Coupe verticale de la mine de la Prugne.
Projection des amas CD, voir le plan (fig. 319).

deux cas (la Prugne et Boccheggiano), où l'étain, en très faible quantité, s'associe encore au cuivre dans des filons qui passent au type des filons cuivreux proprement dits, ou même aux filons cupro-plombifères étudiés dans le paragraphe suivant. Nous les avons choisis, entre beaucoup d'autres analogues, comme montrant la continuité de la série. Mais les descriptions antérieures ont dû suffisamment montrer qu'on pourrait en multiplier le nombre et nous avons, aux §§ III et IV, eu soin d'insister sur les apparitions de bismuth ou autres métaux du groupe stannifère dans des filons cuivreux[3]. De même, nous renvoyons d'avance au chapitre de l'or pour l'étude des chalcopyrites aurifères.

[1] Rémaury (*Prod. du cuivre*, 1838) donne une longue liste des minerais de cuivre au Chili avec leur provenance.

[2] Gisement visité de 1885 à 1889. — Coll. Ec. d. M. 1531. — Feuilles de Roanne et de Gannat. — Vicaire. *Rapport autographié.* — 1873. Deshayes. *Gisement de cuivre de Charrier, près la Prugne* (B. S. G. F., 3e, t. 1, p.504). — 1877. Boulangier. *Un gîte de cuivre en Auvergne* (Agnat et Azerat) (Ind. min., 12 juill.). — 1888. Coudreau. *Mines de cuivre, plomb et zinc de Charrier* (Allier). — 1888. Olivier. *Mines de cuivre de Charrier* (Revue du Bourbonnais). — 1890. Le Verrier. *Formations géologiques du Forez et du Roannais*, p. 33 (Bull. du Serv. de la Carte géol.). — 1897. Burthe. *Recherches de Meymac* (Ann. d. M., 9e, t. 12, p. 30).

[3] Tome 2, p. 558, 663, 664, etc.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le gisement de la Prugne, le seul en France qui, dans la seconde moitié du XIXe siècle, ait donné lieu momentanément à une exploitation de quelque importance, a été autrefois considéré par Ed. Fuchs comme un gisement de ségrégation basique assimilable à Monte Catini. Son origine réelle me paraît toute différente et je serais porté à croire que l'on a travaillé sur les produits de cémentation d'un système filonien qui, d'après les teneurs en étain rencontrées autrefois avec le cuivre, pourrait bien être cupro-stannifère (fig. 317 à 319).

La Prugne est au S.-E. du département de l'Allier, le long d'un système de fractures, prolongé jusqu'au Forez, qui découpe les terrains primaires en lozanges. On a là un bassin carbonifère isolé entre quatre failles, et formé surtout de schistes d'un brun olivâtre, analogues au dinantien de Cusset, près Vichy, schistes alternant avec des quartzites et des grès ou grauwackes. Au Nord, affleurent des schistes et quartzites, influencés par le granite.

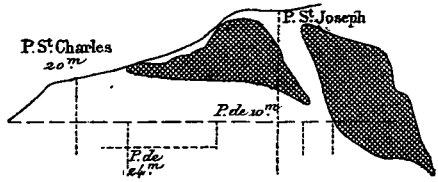


Fig. 318. — Coupe verticale de la mine de Prugne.
Projection des amas sur AB.

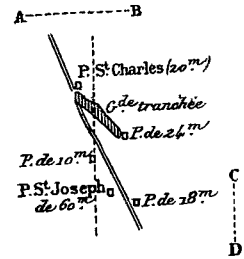


Fig. 319. — Plan de la mine de la Prugne.

Aux environs de la mine, les schistes ont une direction N. 30° W., et sont recoupés très nettement par un certain nombre de filons de microgranulite.

Dans cette région de schistes et microgranulites, se trouve un système filonien cuivreux, dont la direction, d'après les anciens travaux, est à 135°. Au point assez restreint où l'on a travaillé, le filon principal avait pour gangue superficielle une roche verte, à grain fin, qu'on a décrite comme une serpentine ou une diorite et qui, en réalité, d'après l'examen microscopique, est uniquement composée d'une chlorite de la famille de la pennine avec un peu d'opale et quelques zircons invisibles à l'œil nu. Il est possible que sa nature résulte seulement d'un métamorphisme exercé sur des schistes anciens amphiboliques. Cette roche qui, lorsqu'elle est fraîche, est d'un vert sombre avec de très fines paillettes brillantes, devient, en se décomposant, d'un vert ocreux. Elle contient, en général, beaucoup de cuivre disséminé. Mais, en outre, on y a trouvé deux zones riches formant amas de chalcopyrite avec érubescite.

Ces amas, absolument limités en profondeur, ont été dépilés et ont fourni pour 950 000 fr. de cuivre et 560 000 fr. d'argent. On a abandonné ensuite la mine sans être descendu à plus de 50 m. de profondeur.

L'un des amas, exploité à découvert dans une grande tranchée N.-W., est très nettement recoupé par un certain nombre de filons minces de galène et barytine.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La région est d'ailleurs fortement minéralisée, et l'on trouve, au voisinage, plusieurs filons de pyrite de cuivre avec quartz.

Dans le prolongement du filon, à 1 km. environ, on a creusé le puits Sainte-Marie, qui a retrouvé du cuivre sulfuré non argentifère.

Boccheggiano et la Fenice (Toscane). — Il existe également, en Toscane, des types de filons quartzeux à pyrite cuprifère, qui, par la présence d'une faible quantité d'étain et surtout de bismuth, peuvent se rattacher théoriquement, comme cas extrême, au groupe cupro-stannifère. Leur description un peu détaillée nous servira d'exemple suffisant pour ce genre de formations.

Nous renvoyons, pour les généralités sur cette région, à la description que nous en avons donnée autrefois [1]. Bornons-nous à dire que des tronçons de terrains anciens, carbonifère, permien, trias, rhétien, etc., apparaissent ici ramenés au jour par des failles en échelons, au milieu de terrains tertiaires d'où émergent ces sortes de horsts. Des métallisations filoniennes diverses se sont faites suivant ces contacts anormaux, avec parfois des imprégnations latérales produisant des sortes de filons-couches, que l'on peut rapprocher d'autres gisements à allure sédimentaire et qui, beaucoup plus clairs comme types filoniens, aident à comprendre mieux ceux-ci [2].

Notre carte (fig. 319) montre la position des gîtes pyriteux cuprifères de Boccheggiano, la Fenice, Capanne Vecchie, Serrabottini, etc., sur quelques-unes de ces failles. Il s'agit minéralogiquement de gisements où la pyrite domine. L'exploitation de Boccheggiano, qui se fait surtout pour cuivre, nous amène à décrire ce gisement dans le chapitre actuel, comme nous l'avons fait pour les gisements en amas du Sud de l'Espagne et de la Scandinavie. La démarcation entre ces deux groupes de gisements (pyrites et pyrites cuprifères) est plus industrielle que géologique. Mais il nous a paru utile de signaler à cette place la région pyriteuse de la Toscane.

L'important filon de *Boccheggiano* peut être considéré, en deux mots, comme le remplissage, par de la pyrite de fer légèrement cuivreuse avec quartz, d'une grande faille de contact entre le permien, le rhétien ou le trias à l'Ouest et l'éocène à l'Est. C'est un filon-faille, incliné à 45° avec glissement normal du toit sur le mur, un filon de contact entre terrains de nature différente [3], ici sans indice apparent de roche éruptive au voisinage (fig. 321). Sa largeur est de 0 à 25 m. (en moyenne 4 à 6 mètres).

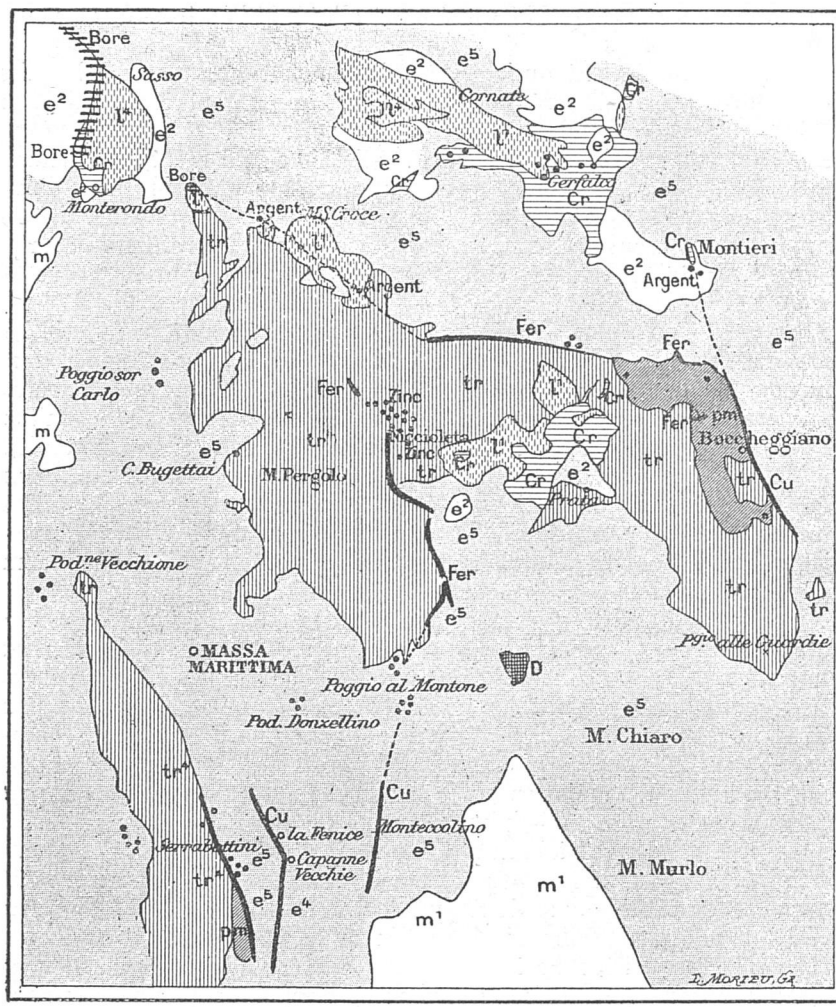
L'affleurement, dirigé Nord 20° W. (voir fig. 320), peut être suivi sur près de 4 km. de long, entre l'éocène qui forme son toit à l'Est et les terrains permiens et rhétiens, qui constituent son mur à l'Ouest; mais la zone

[1] 1906. L. De Launay. *La métallogénie de l'Italie*, p. 67 et suiv. — Voir encore : 1893. Lotti. *Dintorni di Massa Marittima* (Mem. della carta geol. d'Italia, Roma, 172 p. et 1 pl.). — 1904. E. Tacconi. *Sul giacimento di Boccheggiano* (Rendiconti della R. Ac. del Lincei, 10 avril). — Coll. Ec. des M., 1331, 2031,

[2] Voir également au tome I, p. 626, la fig. 92 qui représente à plus petite échelle une région plus étendue.

[3] B. Lotti considère plutôt ces gisements comme le résultat d'une substitution exercée sur de gros bancs calcaires éocènes englobés entre des strates schisteuses avec mouvement postérieur (*I deposit dei minerari metalliferi*, p. 76).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC



m¹ Miocène (conglomérats, sables et argiles lacustres à lignite).
e⁵ Éocène — Grès supérieurs.
e² Éocène — Grès inférieurs.
Cr Crétacé.
Lias
Trias
pm Permien — Schistes micacés.
Diorite.
Zones des soffioni d'acide borique.
Filons métallifères.
Puits antiques
Les dépôts pliocènes et pléistocènes ont été supprimés.

Fig. 320. — Carte géologique de la région métallifère de Boccheggiano et Massa-Marittima.

exploitée, beaucoup plus localisée, n'occupe guère que 1 100 m. dans la partie Nord, au Nord du petit village de Boccheggiano, sur les deux rives de la rivière la Merse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Géologiquement, on serait tenté de rattacher au même système d'accidents les filons de Montieri (cuivre gris et fluorine dans les calcaires du lias), qui se trouvent exactement sur leur prolongement Nord à 3 km. de distance. Néanmoins un accident transversal bien visible coupe le filon un peu au Nord de Boccheggiano, et peut occasionner son rejet. Cet accident, qui met en contact les mêmes terrains carbonifères et rhétiens avec l'éocène, est minéralisé par quelques dépôts de fer sans valeur.

La métallisation du filon, telle qu'elle apparaît sous sa forme primitive au-dessous de la zone altérée [1], est composée de lentilles pyriteuses dans une gangue de quartz. L'on ne considère comme minerai et l'on n'abat

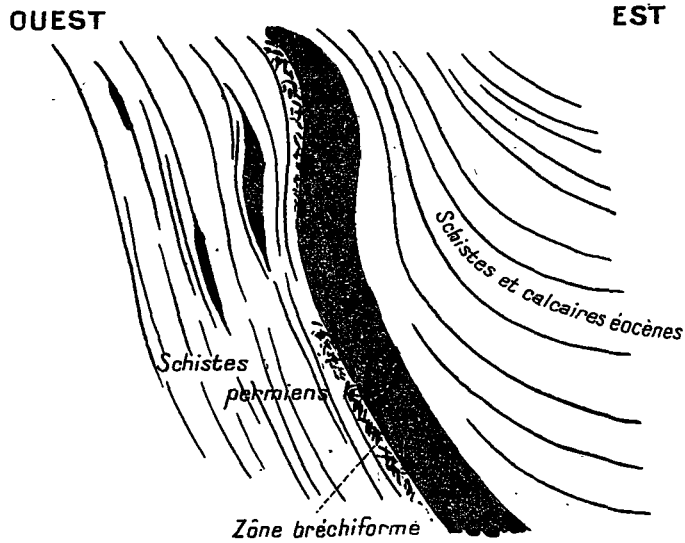


Fig. 321. — Coupe verticale théorique du filon de Boccheggiano.

que les parties tenant au moins 2,5 à 3 p. 100 de cuivre; mais, entre ces lentilles exploitées, se trouvent des zones pyriteuses, qui, dans l'état actuel de l'industrie et des voies de communication, ne sont pas utilisables et qui, d'une façon absolue, sont cependant encore, pour la plupart, des minerais à 1 ou 2 p. 100 de cuivre. Quand, vers 1890, on a repris, sous la direction de l'ingénieur Serpieri, le créateur du Laurion, ces anciens gisements de Boccheggiano depuis longtemps abandonnés, on s'était fait quelque illusion sur cette répartition des parties cuivreuses et l'on avait espéré trouver une métallisation continue. On a constaté depuis que la pyrite avait l'allure de lentilles dans le quartz et que, dans la pyrite même, les parties cuivreuses étaient disséminées. Les travaux actuels, qui s'étendent sur 250 m. de hauteur entre les cotes 320 et 570, portent, en résumé, sur 2 ou 3 lentilles bien localisées, dans lesquelles le

[1] Les phénomènes d'altération sont intéressants à étudier sur ce filon. Je les ai décrits dans *La Métallogénie de l'Italie*, p. 84 à 87. — Voir plus loin. t. 2, p. 799 à 802.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

minerai n'accuse pas des zones d'incrustation régulières, mais est assez confusément mélangé avec le quartz.

Quand on part du mur, on rencontre parfois une première lentille pyriteuse avec quartz, distincte de la masse principale et d'une certaine importance. Il existe, en outre, dans ces schistes du mur (inclinés comme le montre notre coupe, fig. 321, tout à fait parallèlement à la faille), de petites lentilles, soit de quartz très blanc, soit de quartz et pyrite, interstratifiées dans les couches, jusqu'à une assez grande distance du filon : lentilles, qui accusent bien le caractère ordinaire de ces imprégnations sulfureuses, avec leur tendance si fréquemment constatée (en Norvège, dans le Sud de l'Espagne, dans les Alpes, etc.) à s'infiltrer suivant les joints de la schistosité. Puis le filon même commence par une zone généralement pauvre et laissée de côté, dans laquelle se manifestent, sur l'affleurement, des caractères bréchiformes, également retrouvés dans le niveau le plus profond. On observe parfois, à ce mur, des veines de quartz blanc, pouvant contenir de la pyrite au centre, qui semblent résulter de cristallisations secondaires et des crevasses avec pyrite cristallisée. Après quoi, vient la masse exploitée, qui est surtout comprise entre le milieu du filon et le toit. Au toit enfin, on retrouve souvent, sur $0^m,50$ à $0^m,60$ de large, un banc de pyrite peu cuprifère.

Ces caractères ne paraissent, d'ailleurs, avoir qu'une valeur locale. Suivant les points et les niveaux d'exploitation, on les voit se modifier. Ainsi, d'une façon générale, les résultats de l'exploitation ont accusé, dans la profondeur, une augmentation de la quantité de minerai par mètre d'enfoncement, à tel point qu'on a pu passer, pour les minerais de seconde qualité à traiter sur place, de 4 000 à 12 000 tonnes par an, avec une diminution sensible de la teneur en cuivre.

Quant aux terrains du toit, redressés au voisinage immédiat de la faille, ils reprennent, à peu de distance, une allure plus horizontale, nettement discordante avec celle des schistes permiens.

Le minerai est exclusivement de la pyrite avec chalcopyrite et se différencie par là complètement de celui de Monte Catini décrit précédemment dans la même région; aux affleurements seulement, l'altération de cette chalcopyrite a donné un peu de chalcosine. La pyrite est, tantôt massive, tantôt pulvérulente (par un phénomène probablement secondaire), tantôt cristallisée en gros cubes avec du quartz dans des géodes. On a trouvé, en outre, des traces de bismuthine, surtout dans les parties où la pyrite a été remplacée par de l'oligiste et, d'une façon générale, la composition du minerai accuse, comme le montrent les analyses ci-jointes, une teneur relativement forte en bismuth, avec des traces d'étain. Par là, ce filon se rattache au groupe stanno-cuprifère, où le bismuth est un élément presque normal et cette observation correspond avec la présence d'un peu d'étain dans les filons du même groupe à Campiglia Marittima ou à l'île d'Elbe, tandis que le zinc et le plomb, plus habituellement associés avec la pyrite, font, l'un presque complètement, l'autre totalement défaut dans ce filon et sont, d'une façon générale, rares dans tout le district. La gangue renferme, en outre, exceptionnellement un peu de barytine. La fluorine, qu'on a rencontrée à Montieri, ne se montre pas à Boccheggiano.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLEAU 48. — ANALYSES DES MINERAIS DE BOCCHEGGIANO (par Frezenius).

	1re qualité.	2e qualité.	3e qualité.
Fer	27,60	35,60	24,70
Soufre	31	39,60	27,90
Cuivre	10,50	3,40	2,70
Zinc	0,22	0,36	0,30
Bismuth	0,28	0,17	0,12
Nickel et Cobalt	0,045	0,02	0,01
Manganèse	0,04	0,045	0,09
Plomb	0,02	0,05	0,03
Etain	»	0,02	0,02
Arsenic	0,01	0,065	0,03
Antimoine	»	0,01	»
Gangue, Silice, Calcaire, etc.	30,25	26,66	44,09
Total	100	100	100

La production actuelle de Boccheggiano est d'environ 31 à 35 000 t. de minerai utile par an, tenant 3,10 à 3,20 de cuivre et donnant, par conséquent, 1 000 à 1 200 tonnes de cuivre par an. Les minerais de Boccheggiano sont divisés en trois catégories : 1° minerais de première classe entre 9 et 10 p. 100 de cuivre, laissés en morceaux, envoyés à Livourne et traités là par fusion au convertisseur Manhès; 2° minerais moyens broyés au-dessous de 4 mm., échantillonnés à 3 p. 100 de cuivre minimum et 40 p. 100 de soufre, expédiés aux fabricants d'acide sulfurique à Florence, Rome, etc.; 3° minerais de troisième classe à 2,5 p. 100 de cuivre et 23 p. 100 de soufre, traités à Boccheggiano. La proportion actuelle de ces trois sortes dans le tout-venant, est : 8 p. 100 de première classe, 25 à 30 p. 100 de seconde, 45 de troisième; il reste 15 à 19 p. 100 de stérile, tenant encore 0,80 p. 100 de cuivre et 28 p. 100 de soufre.

Le grillage sur place se fait par le procédé de cémentation artificielle (teleras, terreros et lixiviation), que l'on applique aussi dans le Sud de l'Espagne, avec des différences tenant à ce que les minerais de Boccheggiano tiennent seulement 25 p. 100 de soufre, contre 50 à Rio Tinto. La situation de la mine à 20 km. de Massa Marittima, qui est la station la plus proche, ne permet pas d'exporter les pyrites non cuprifères.

Au Sud-Ouest de Boccheggiano, le filon de la *Fenice* et de *Capanne Vecchie* (fig. 320) donne lieu à une autre exploitation importante de pyrite cuivreuse[1].

On a là un grand filon très net, qui, d'après la carte géologique, serait en plein éocène, mais qui, d'après divers indices, pourrait être, comme ceux de Boccheggiano ou de Serrabottini, au contact de l'éocène avec un étroit lambeau de rhétien, ou de permien. Ce filon avait été pris autrefois pour une strate éocène minéralisée; mais les caractères sont bien ceux d'une zone de rupture avec nombreuses fractures connexes au toit, et l'interstratification apparente du filon n'est qu'un effet mécanique,

[1] Les deux compagnies de la Fenice et de Capanne Vecchie, autrefois distinctes, sont aujourd'hui subordonnées à la compagnie de Boccheggiano. Il existe, à la Fenice, environ 14 km. de galeries en 7 niveaux de 2 km. et l'on produit, par an, 60.000 t. de minerai à 2,50 p. 100 de cuivre (une seule qualité), que l'on expédie à Livourne.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comme on peut s'en rendre compte en voyant ces terrains reprendre, à quelque distance de la faille, leur direction normale. Il est probable que le filon de la Fenice remonte à l'Est les terrains, qui, plus à l'Ouest, avaient été renfoncés dans la même sens par celui de Serrabottini..

Ce filon, incliné à 45°, est puissant. Il atteint, par endroits, 15 m.; ailleurs, il disparaît presque totalement; en moyenne, sa puissance est de 5 à 6 m. On l'exploite sur 2 km. de long. La masse est composée de quartz, dans lequel la métallisation de pyrite cuivreuse est très disséminée : ce qui conduit à exploiter à peu près tout l'ensemble et à ne faire qu'une seule qualité de minerai. A son contact, il s'est produit un métamorphisme intense, qui s'étend à travers l'éocène jusqu'à plus de 500 m. Dans toute cette largeur, les schistes sont silicifiés, pénétrés d'un réseau de veinules quartzeuses et les calcaires alberese se sont chargés de minéraux silicatés, pyroxène, amphibole, analogues au skarn de norvège ou aux gangues du type Banat. En même temps, les schistes encaissants du toit renferment des imprégnations pyriteuses interstratifiées, de composition analogue à celle du filon principal et parfois assez riches, surtout développées sur les 50 premiers mètres de largeur, qui rappellent certains types scandinaves tels que Röros, tandis que la masse principale serait plutôt comparable à un amas tel que celui de Foldal. Il paraît donc y avoir eu pénétration simultanée des eaux métallisantes dans toute une zone de rupture, dont le filon principal était l'accident le plus important.

Quand on a engagé les travaux, la métallisation a commencé, aux affleurements, par un grand chapeau de fer, au-dessous duquel on a trouvé une zone de cémentation enrichie en cuivre. Le niveau le plus riche a été le quatrième. Dans la profondeur, le filon semble devenir beaucoup plus quartzeux et, par conséquent, plus pauvre en pyrite.

VII. — FILONS DE CHALCOPYRITE A GANGUE QUARTZEUSE PASSANT AU TYPE PLOMBEUX

Généralités. — Les filons de quartz à chalcopyrite constituent un cas particulier des départs acides examinés dans le paragraphe précédent : le cas où disparaissent les métaux du groupe de l'étain et les minéraux fluorés qui formaient la caractéristique de celui ci. Mais il est rare qu'il n'y apparaisse pas alors d'autres métaux sulfurés du groupe plombifère, qui, par des transitions nombreuses, arrivent progressivement à dominer.

Comme, en outre, la plupart des filons quartzeux, seulement cuprifères, ont été, en raison de leur rapport tout à fait intime avec des roches éruptives, classés au paragraphe IV (Caucase, Arménie, Japon, Montana, etc.) nous n'aurions guère à étudier ici que ceux sur lesquels nos connaissances géologiques sont incomplètes. Aussi supprimons-nous la coupure, qui pourrait être logique, entre les gisements simplement cuprifères et ceux contenant du cuivre et du plomb et considérerons-nous, dans ce paragraphe, tous les filons de pyrite cuprifère, quel qu'en soit le type, où le cuivre peut entrer dans un remplissage complexe et s'associer au plomb.

Nous ajouterons aussitôt qu'un assez grand nombre de filons, où la chalcopyrite n'est pas accompagnée de plomb, du moins en quantité notable,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

renferment des traces d'or assez importantes pour valoir une exploitation, en sorte que nous aurons à y revenir en étudiant l'or.

Quand le cuivre est associé au plomb, ce qui se produit dans des gîtes de types très divers[1] (ségrégations, contacts, filons, sédiments, etc.), on observe fréquemment un fait que nous avons déjà rencontré pour l'association du cuivre et de l'étain : les phénomènes de cémentation ont concentré le cuivre à la surface et ce métal disparaît souvent en profondeur, ou devient tout à fait subordonné, alors qu'au voisinage des affleurements, il avait pu prendre d'abord une place relativement importante et mériter une exploitation.

On en rencontre des exemples, aussi bien à Freiberg (mine Himmelfahrt) qu'à Linares (Espagne), ou en Prusse Rhénane, ou à Loudima dans le bassin du Niari au Congo. C'est le même fait qui dans les amas pyriteux, a amené, comme nous l'avons vu, une diminution de la teneur en cuivre avec la profondeur[2].

Saxe, Harz, Prusse Rhénane. — Parmi les gisements européens, *Freiberg* offre un exemple intéressant de cuivre intervenant dans une métallisation filonienne complexe à plomb dominant, tout à fait typique. Le cuivre a pu être exploité aux mines Himmelfahrt et Junge Hohe Birke[3].

D'ailleurs, dans l'ensemble des mines de Freiberg, on a, de 1524 à 1803, extrait environ 1 d'argent pour 35 de cuivre, l'argent étant lui-même au plomb dans la proportion approximative de 1 à 130 : ce qui représente à peu près 1 de cuivre pour 3,8 de plomb.

En profondeur, la teneur en cuivre est tombée au point qu'on avait, la proportion d'argent au plomb restant analogue, 1 d'argent pour 3 de cuivre. Il est probable, comme nous venons de le dire, que les phénomènes de cémentation, dus aux altérations, ont contribué à cette modification.

Le cuivre intervient également, côte à côte avec des remplissages complexes, dans les filons du *Harz*, qui seront étudiés plus tard à propos du plomb.

Nous constaterons encore, dans un paragraphe ultérieur, l'association du plomb et du cuivre dans les grès plombifères de *Commern, Mechernich, Saint-Avold* et dans les conglomérats du *Cap Garonne* (Var).

Kupferberg (Silésie[4]). — Le district de Kupferberg présente des gisements de types variables, que Krusch a hypothétiquement rattachés à une intrusion granitique dans des schistes amphiboliques et qui, à certains égards, font penser à notre type III. 1° On a, près du granite, des zones de magnétite, pyrite et blende, avec hornblende et épidote (Einigkeit Gang). 2° Un peu plus loin du granite, dans l'Est, il existe des filons de cuivre (chalcopyrite, érubescite, etc.) à gangue de hornblende et chlorite

[1] Dans les anciennes théories, toutes les fois que l'on rencontrait une association semblable regardée comme exceptionnelle, on croyait devoir, pour l'expliquer, imaginer deux venues métallifères distinctes et successives.

[2] Voir tome 1, p. 101, 166, 191 ; t. 2, p. 797.

[3] 1901. H. Müller. *Die Erzgänge des Freiberger Bergreviers.* Leipzig, p. 121.

[4] 1859. Websky. *Ueber die geogn. Verh. der Erzlagerst. von Kupferberg und Rudelstadt* (Z. d. D. geol. Ges., t. 5, p. 373-438). — 1901. Krusch. *Die Klassif. der Erzlagerst. von Kupferberg* (Z. f. pr. G., p. 226-229). — 1906. A. Sachs. *Die Mineralsch. Schlesiens*, p. 24.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et d'autres à gangue de quartz regardés comme plus jeunes. La région présente, en même temps, des filons plombifères et d'autres barytiques, qui ont été supposés postérieurs aux filons cuivreux.

Linarès. Val Trompia, etc.. — A *Linarès* (Espagne), nous verrons qu'un remarquable système de filons de plomb encaissés dans le granite sur le bord S.-E. de la Meseta Espagnole a contenu, vers les affleurements, assez de cuivre pour avoir pu être exploité autrefois à cet égard[1]. Le cuivre apparaît aussi à *San Quintin* dans des filons plombifères.

On peut encore citer, à ce propos, le cas des filons complexes des *Vals trompia et Sabbia*, dans la Lombardie Supérieure, que nous étudierons au § VII.

Miliana, Oualil, Kef oum-Theboul, etc. (Algérie[2]). — Il existe, au Maroc, en Algérie et en Tunisie, de très nombreux exemples de venues complexes cupro-plombifères et, dans l'ouvrage sur les Richesses Minérales de l'Afrique, j'ai spécialement insisté sur l'unité métallogénique de cet ensemble, où, suivant les points, peuvent dominer le cuivre, le plomb, le zinc, le fer, ou même le mercure. Nous avons vu également, plus haut[3], comment ces gisements paraissent en relation d'origine avec les roches éruptives tertiaires : relation plus intime pour certains gisements de cuivre déjà décrits, lointaine pour le plomb et surtout pour le mercure. Les gisements de cuivre gris associés à ce groupe trouveront leur place un peu plus loin au § VIII. D'autres filons, dans des régions où le plomb domine, seront signalés en passant quand nous nous occuperons du plomb. Ici nous allons simplement parcourir la traînée métallifère de l'Ouest à l'Est en insistant sur quelques filons complexes, où le cuivre se présente, sans acquérir malheureusement de valeur pratique.

Quand on part à l'Ouest, de la frontière marocaine, on a une zone plombo-cuprifère assez médiocre, où le plomb domine à Garrouban, avec des filons de plomb, zinc et cuivre à *Abla*, *Tléta*, etc. dans le jurassique.

Dans la région centrale de l'Algérie (fig. 322) la métallisation est abondante, sinon bien riche. A l'Est de Renault, dans la zone côtière, les minerais suivent deux anticlinaux anciens : l'un sur la côte, allant de Ténès à Gouraya, Cherchell et Alger ; l'autre, qui lui est à peu près parallèle, à une distance de 30 ou 40 km., allant d'Orléansville à Miliana, Blida, Foundouk et Ménerville[4].

La zone sans valeur, qui suit immédiatement la côte, commence, autour

[1] Voir au tome 3, le tableau 19, qui met en évidence la présence du cuivre dans un certain nombre de filons plombeux.

[2] Voir ma description méthodique dans les *Richesses minérales de l'Algérie*. — Cf. 1910. DUSSERT. *Gis. mét. de l'Algérie* (Ann. d. M., 180 p.). — Coll. Ec. d. M. 1093 (Abla) ; 1096 (Oued-Kseul), dans le dép. d'Oran ; puis, dans le dép. d'Alger, 1087 (Oued Allelah) ; 1089 (O. Melah) ; 1090 (O. Merdjda) ; 1091 (O. Kébir) ; 1092 (Dj. Hadid) ; 1399 (Hadjail) ; 1400 (Soumah) ; et enfin, dans le dép. de Constantine, 1096 (Beni-Mimoun) ; 1396 (Achaichs) ; 1397 (La Calle) ; 1398 (Rigas).

[3] Tome 2, p. 683 et 684.

[4] Voir dans les *Richesses minérales de l'Afrique*, p. 308, 311, 317, etc., une série de cartes minières de l'Afrique du Nord prises de l'Ouest à l'Est, dont nous reproduisons ici les principales.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

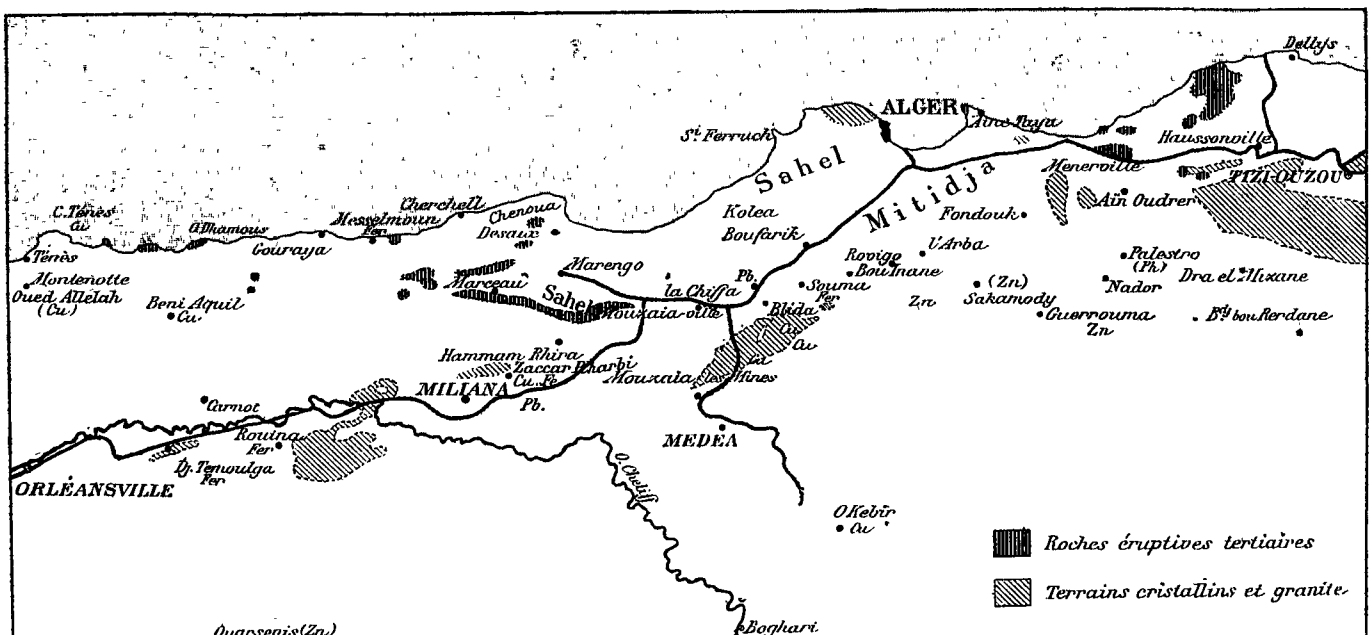


Fig. 322. — Carte minière de la région centrale de l'Algérie, d'Orléansville à Tizi-Ouzou.

Echelle aux 1/1 450 000e.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de *Ténès*, par d'assez nombreux gisements, surtout cuivreux, de chalcopyrite, et cuivre gris avec galène et pyrite de fer, sidérose ou ankérite, et hématite qui, industriellement, peuvent être considérés comme des gîtes de fer à cuivre très accessoire.

Une autre zone métallifère, qui suit un alignement de terrains anciens et de lias entre Orléansville et Blida, commence à l'Ouest par le *Djebel*

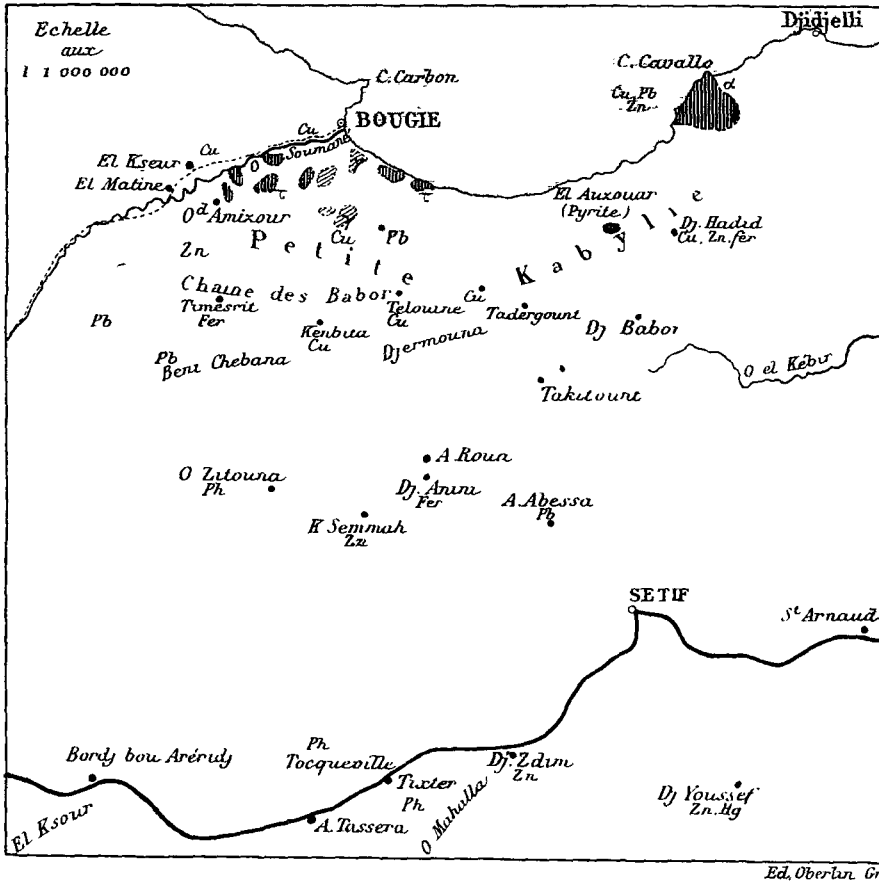


Fig. 323. — Carte minière de la région de Bougie et Sétif. Echelle au 1/1 000 000e.

Temoulga (21,5 km., N. E.-4° d'Orléansville). Il y a là, dans des marnes schisteuses subordonnées aux calcaires liasiques, quelques imprégnations cuivreuses, accompagnées, dans ces calcaires mêmes, par des amas de substitution d'hématite, qui offrent une certaine extension et qui ont été exploités à ciel ouvert de 1872 à 1876. On trouve, en même temps, de l'ocre jaune.

Puis, les environs de *Miliana* sont riches en minerais, qui ont fait d'abord concevoir de grandes illusions, mais qui se sont trouvés beaucoup trop disséminés pour donner des résultats pratiques, particulière-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

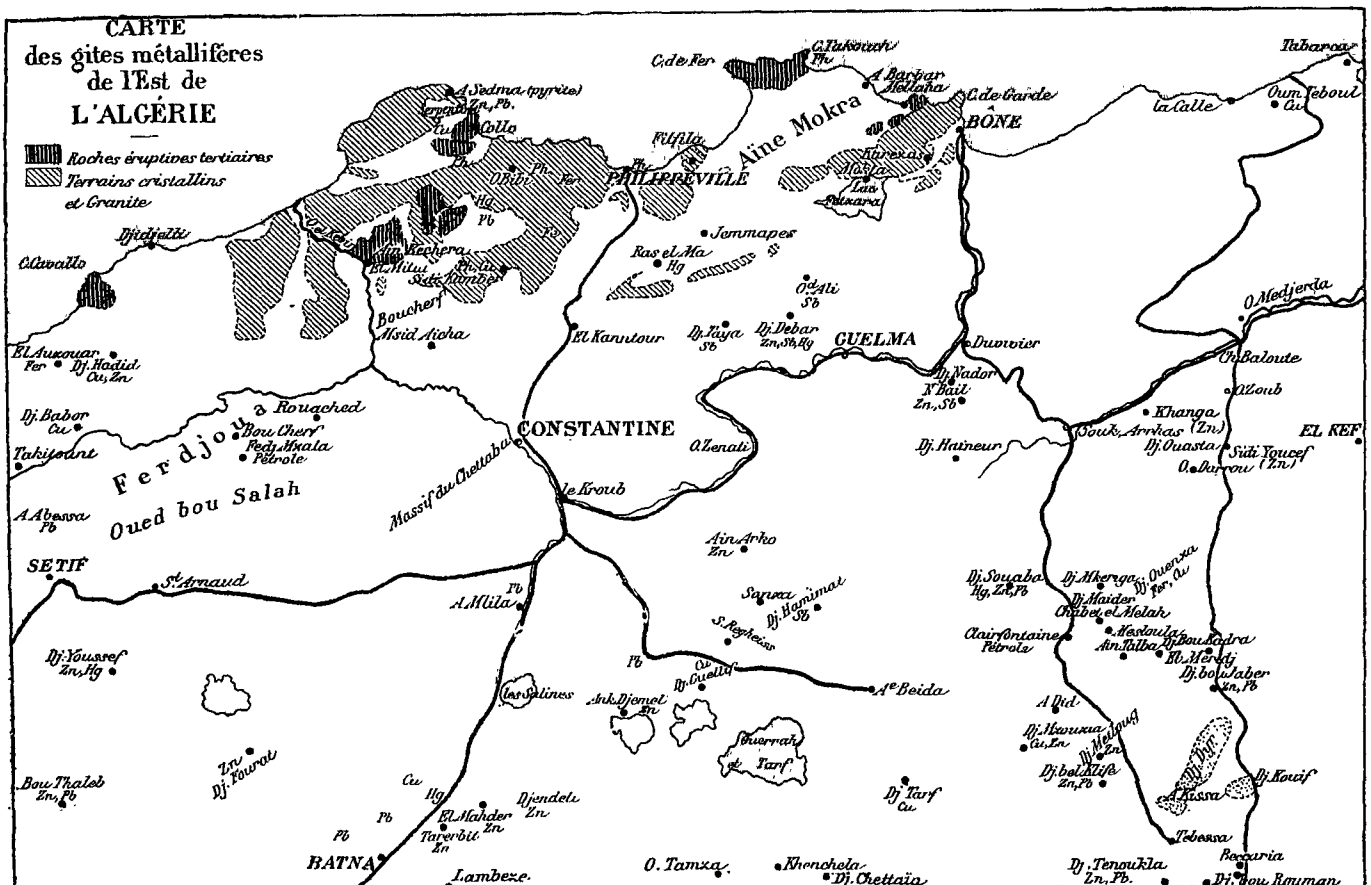


Fig. 324.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ment des chapeaux d'hématite avec pyrite de cuivre disséminée (Zaccar R'harbi, etc.).

Notons en passant les veinules de cuivre pyriteux, plus ou moins oxydé et carbonaté, avec sidérose et hématite, parfois aussi avec galène, d'*Aïn-Kerma* (4 km. W. 15° N. de Miliana), d'*Aïn-Soltan* (9 km. S. 33° E. de Miliana), d'*Oued Adelia* (7,5 km. E. 5° S. de Miliana), d'*Hammam-Rhira* (16 km. E. 34° N. de Miliana) : veinules encaissées dans des terrains variables, crétacés ou miocènes (Albien, Burdigalien, Helvétien). On a fait là des explorations vers 1856.

Puis, après une lacune d'une trentaine de kilomètres, les mines de cuivre, un moment fameuses, de *Mouzaïa* (10 km. N.-N.-W. de Médea) commencent, par des gisements de cuivre gris, dont nous nous occuperons plus tard[1], une nouvelle zone minéralisée, qui au Sud de la Mitidja, se continue vers Blida, Soumah et Rovigo.

La concession de Mouzaïa se prolonge, vers le Sud-Est et l'Est, par celles de *Oued Merdja* et de *Oued Kébir*. A *Oued Merdja* (11 km. S.-S.-W. de Blida, tout près de la maison des mines de Mouzaïa) on a exploité,

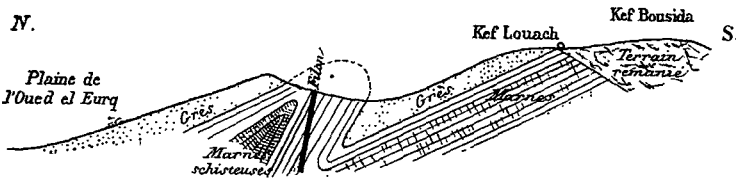


Fig. 325. — Coupe théorique de la région de Kef oum-Theboul.

avant 1868, des filons de cuivre pyriteux avec dolomie ferrugineuse, dans le néocomien. Plus au Nord, à 3,5 km. E.-N.-E. de Blida, on a fait, vers 1875, une tentative d'exploitation, à *Oued Beni-Aza*, sur des filons complexes de galène, cuivre pyriteux et blende, éparpillés dans les marnes sénoniennes et les schistes de la Chiffa. Enfin, toujours le long de la même zone des schistes de la Chiffa, à quelques kilomètres N.-E. de l'Oued Beni-Aza et au Sud de Boufarik (9 km. E. 27° N. de Blida) se trouve la concession de fer de *Soumah*, où une tentative d'exploitation a été faite, en 1883, sur un filon encaissé dans le Gault, offrant, à la surface, de l'hématite et, plus bas, de la sidérose, avec de la pyrite et de la chalcopyrite, qui forment évidemment le minerai primitif, dominant en profondeur.

Puis viennent, dans la région de Bougie (fig. 323), toute une série de gisements caractérisés par la présence du cuivre gris et dont nous réservons, par conséquent, la description. Citons-y seulement, dans l'Est, deux gisements, qui semblent avoir une origine commune : l'un, pour le cuivre, à *Oualil*, ou *Djebel Hadid* (25 km. S. 15°. W. de Djidjelli) ; l'autre, pour pyrite de fer, à *El-Auzouar* (39 km. E. 25° S. de Bougie)[2].

A *Oualil*, on est dans les schistes bitumineux du sénonien, au voisinage de leur contact avec les calcaires liasiques. Il paraît s'être formé un pli avec décrochement et il en est résulté une série de veinules ou filons métal-

[1] Voir t. 2, p. 744 à 746.
[2] Voir t. 1, p. 287 et 350.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lifères, dont le principal est composé de chalcopyrite avec ankérite et hématite (sans cuivre gris), dont quelques-uns également sont incrustés de cuivre gris, ou contiennent de la blende.

Le filon d'Oualil, connu sur 200 m. de long et 50 m. de profondeur, donne des minerais à 3 ou 4 p. 100 de cuivre, qu'on a cru pouvoir enrichir par séparation magnétique.

Le groupe de *Cavallo* et *Collo* a déjà été décrit pour son association directe avec les roches éruptives[1] (fig. 324).

Enfin, nous arrivons au gisement relativement important de *Kef Oum-Thebout,* près du port de la Calle [2], dont la description plus détaillée pourra servir de type pour tous les filons du même genre.

La montagne du Kef, composée de marnes schisteuses et de grès tertiaires (fig. 325), est traversée par un filon ramifié, dirigé E.-W., incliné vers le Nord à 65°, et recoupant les schistes sous un angle assez faible. On distingue, dans ce filon, trois veines : veine du toit connue seulement à l'Est; veine principale; veine du mur. A l'Est, le filon vient buter et s'arrêter contre une autre veine N.W.-S.E., dite la veine du cuivre.

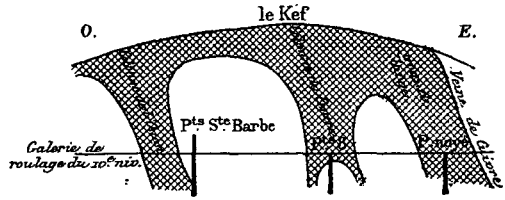


Fig. 326. — Coupe verticale (théorique) du gisement de Kef oum-Theboul.

Le remplissage est formé de pyrites de fer et de cuivre, blende et galène argentifère avec quartz dominant, barytine accidentelle et argile blanche. Ces minerais sont toujours mélangés intimement (ce qui rend la préparation mécanique difficile) et semblent bien faire partie d'une même venue métallifère; pourtant on trouve isolément de la pyrite de fer ou de la galène; mais le minerai cuivreux est toujours complexe. On a cru remarquer que la pyrite de fer avait cristallisé avant la pyrite de cuivre et celle-ci avant la blende. La teneur en argent diminue rapidement en profondeur. On peut signaler, dans le Nord du gisement, la présence de la fluorine.

Les parties riches du filon présentent la forme de colonnes plongeant légèrement de l'Ouest vers l'Est, comme le montre une coupe théorique Est-Ouest (fig. 326) dans le plan du filon. Ces colonnes, au nombre de trois, se rejoignent près des affleurements, formant là une zone riche continue, depuis longtemps épuisée.

La colonne de l'Ouest se prolonge, sans accident, jusqu'à 80 m. au-dessous du 10e niveau. La colonne du centre se bifurque assez vite. Celle de l'Est, ou Grand-Large, est formée de la réunion de la veine principale

[1] Tome 2, pages 683 et 684.

[2] Coll. Ecole des Mines, 1781, 2784. — 1877. Ledoux. *Rapport sur les mines du kef oum-Theboul* (Marseille, chez Bouisson). — *Traité des gîtes minéraux et métallifères*, t. 2, p. 269 à 271 : avec plan détaillé des travaux et bibliographie.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

avec la veine du mur et la veine de cuivre ; cette dernière, résultant d'une cassure un peu oblique sur le filon Est-Ouest principal, paraît avoir été remplie en même temps.

Les minerais extraits se répartissaient, vers 1888, de la façon suivante :

En général 1.000 kil. de minerai but donnent 717 kil. de minerai de fusion.

- Galène : 1 p. 100 (47,6 p. 100 plomb ; 1.230 gr. d'argent par t.).
- Pyrite cuivreuse, n° 2 : 1 p. 100 (Cu. : 14 p. 100 : Ag. : 900 gr. par t.).
- Pyrite cuivreuse, n° 2 *bis* : 1,5 p. 100 (Cu. : 4 p. 100 ; Ag. : 1.480 gr. par t.).
- Pyrite cuivreuse, n° 3 : 40 p. 100 (Cu. : 2,45 p. 100 ; Ag. : 400 gr. par t.).
- Blende. . . . . 1 p. 100 (Zn. : 35,75 p. 100 ; Ag. : 260 gr. par t.).
- — galénifère. 1 p. 100 (9 p. 100 de plomb).
- Complexes lavés : 30 p. 100 (Cu. : 1,76 p. 100 ; Ag. : 300 gr. par t.).
- Complexes en roches (ne se vendant pas), 7 p. 100.
- Stérile : 17,5 p. 100.

En 1888, l'extraction était de 14400 t. de minerais, valant 337000 fr., que l'on exportait, soit à Anvers, soit à Swansea. Quelques années après, l'exploitation a été arrêtée. On l'a reprise en 1901 sans grande activité.

Entre Collo et Philippeville, on retrouve du cuivre dans quelques filons complexes sans importance (*Achaïchs*, etc.). De même la région de *Batna*, beaucoup plus au Sud, présente encore l'association du cuivre avec le plomb et le zinc, et le cuivre existe aussi dans le gisement de *Djebel Zrissa* en Tunisie.

Sud-Ouest Africain. — L'association du cuivre et du plomb se retrouve encore dans le gîte de *Tsoumeb* du district d'Otavi dans le S.-W. africain allemand, le plus important qu'on ait encore trouvé dans cette colonie[1].

Caucase. — La zone paléozoïque du Caucase[2] contient, à *Saniba* (un peu à l'Ouest de la montée du Dariel), des filons de galène et chalcopyrite et l'on retrouve également, au *Sadone*, des filons de galène, blende, pyrite et pyrrhotine, avec calcite et barytine, renfermant un peu de chalcopyrite.

Steppe Kirghise. — Il existe, au Sud de Karkaralinsk, divers filons cupro-plombifères dans les porphyres, ou au contact des porphyres et des schistes.

Kousou-Adir (ou Rochdestvensk), à 180 km. S.-W. de Karkaralinsk au Sud des montagnes de Kisil-tach, est un exemple du premier cas. On a des veines quartzeuses avec fines ramifications latérales dans les fissures du porphyre quartzifère qui, assez développées à la surface, se coincent rapidement en profondeur (galène, blende et pyrite, avec altération jusqu'à 8 m.). *Berkara* (70 km. S.-W. de Karkaralinsk), qui a alimenté la fonderie de cuivre de Bogoslovsk, contient, dans des conditions analogues, une série de veines, surtout cuivreuses au Sud-Est, plombeuses au Nord et au N.-W. A *Ouspiensk* (limite des districts de Karkaralink et Akmolinsk), les veines de quartz cuprifère suivent le contact d'un porphyre quartzifère avec un schiste chloriteux.

[1] Nous avons décrit divers gîtes du S. W. africain allemand comme fahlbandes, t. 2, p. 668. Voir également, sur Otyozonyati. t. 2, p. 714.

[2] Voir une carte dans *Rich. min. de l'Asie*, fig. 54, p. 585.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Turkestan Russe. — Le Turkestan Russe présente, à côté des gisements de contact précédemment étudiés[1], un certain nombre de gîtes filoniens complexes, remarquables par l'association constante du plomb et du cuivre, avec prédominance tantôt, de l'un, tantôt de l'autre. On y observe, d'une façon plus ou moins complète suivant les points, l'association caractéristique de la galène, de la blende et des pyrites de fer et de cuivre avec la fluorine, le quartz et la barytine. Le plus riche gisement de ce genre est, paraît-il, celui de *Karamazar*, à 40 km. N.-E. de Khodjent, où plusieurs filons puissants, dont le principal a 2,20 m., recoupent des calcaires métamorphiques, au voisinage, parfois immédiat, de la diorite, dans des conditions qui, par conséquent, pourraient faire songer aux gîtes de contact précédemment étudiés.

Comme gîte cuivreux plus spécial, on peut citer celui des bords du *Djeï-sou*, affluent de gauche du Tékès, au Sud de la région métallisée de Kouldja et à l'Est du lac *Issyk-koul* (territoire de Sémiretchié), où un autre filon cuivreux suit le contact d'un mélaphyre et de grès, dans lesquels il s'éparpille. La relation possible du cuivre avec des roches de la famille des mélaphyres et porphyrites, que l'on observe ici, rappelle également ce que nous avons dit au paragraphe IV.

Inguaran (Michoagan)[2]. — L'attention a été un moment très vivement attirée sur le « Boleo d'Inguaran », où une société française a dépensé 6 500 000 fr. en recherches de 1893 à 1905, mais finalement n'a pas cru pouvoir, dans les conditions de transport actuelles, pouvoir commencer l'exploitation. Ce groupe de gisements, situé près de la frontière de l'Etat de Guerrero, a été autrefois très activement travaillé par les Espagnols. Il y a là tout un système de filons complexes, où le cuivre domine, mais où on retrouve également la galène, la blende, etc. : système en relation, comme tant d'autres filons métallifères mexicains, soit avec les andésites, soit avec des types pétrographiques plus profonds, qualifiés de diorites.

Dans la principale des anciennes mines, dite El Barreno, les recherches ont reconnu, sur un filon de contact avec une roche qualifiée de granulite, une sorte d'amas minéralisé que l'on a évalué à 3 MT, tenant 3 p. 100. Ces minerais se présentent surtout sous la forme d'un ciment de quartz et calcite avec chalcopyrite, presque exempt de pyrite de fer, dans un conglomérat à éléments de porphyre feldspathique. Parfois le cuivre est à l'état d'érubescite, de chalcosine, ou de carbonate, associé souvent à du gypse. Ailleurs, on a trouvé plusieurs filons cuivreux de 0,90 à 1,20 m. D'autre part, quand on suit l'affleurement de la Gran Veta de Inguaran, qui passe au Barreno et qui se prolonge sur 4 ou 5 km., on y trouve, dans une gangue quartzeuse, tantôt de la blende et de la galène, tantôt de la pyrite.

Outre ce gisement cuprifère, l'Etat de Michoacan en renferme beaucoup d'autres, généralement sans grande importance, qui s'associent à des andésites.

[1] Tome 2, p. 704.

[2] 1908. R. Bigot. *Prospection pour cuivre au Sud de l'Etat de Michoacan* (Mém. Soc. Ing. Civ., mai).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Burra-Burra (Australie)[1], etc. — Les filons de *Burra-Burra*, en Australie du Sud, célèbres pour leur richesse en minerais de cuivre, sont situés dans des calcaires métamorphiques. Ils ont de 10 à 14 m. de puissance ; quatre d'entre eux sont dirigés Nord-Sud et Est-Ouest ; ils forment, entre eux, de nombreux croisements. On trouve souvent la serpentine aux salbandes.

A la surface, il existe un chapeau de fer hydroxydé ; plus bas, des minerais oxydés de cuivre, cuprite, malachite, azurite, atacamite, et du cuivre natif, avec quartz ; plus bas encore, au filon Allens, de l'érubescite et de la chalcopyrite avec gangue quartzeuse.

On a extrait, de 1845 à 1877, environ 52 000 t. de cuivre sous forme de minerais à 22 p. 100. Après quoi le gisement, sous sa forme riche, a été épuisé. Plus tard on a trouvé, dans la même province, les beaux filons de *Wallaroo* et de *Moonta*[2].

Dans le N. S. Wales, les filons de *Great Cobar* traversent du silurien.

On pourrait également placer ici les grands filons cupro-aurifères du *Mount Morgan* en Queensland, qui seront décrits à l'occasion de l'or.

VIII. — FILONS, A GANGUES CARBONATÉES, DE CHALCOPYRITE, D'ENARGITE OU DE CUIVRE GRIS, CES DERNIERS SOUVENT AVEC CINABRE

Les minerais de cuivre sont loin d'être toujours à gangue de quartz. On trouve également, comme gangues, la sidérose, la barytine, la fluorine.

1° Il existe tout un groupe assez développé de filons présentant l'association de la chalcopyrite avec la sidérite, dont les principaux ont été décrits à propos du fer[3], en sorte que nous n'avons pas à y revenir. Rappelons seulement le groupe d'Allevard dans l'Isère, avec intervention locale du nickel et du cobalt ; ceux du pays de Siegen et d'Horhausen près Coblentz avec cuivre gris, sidérose, stibine, smaltine, chloanthite ; Dobsina en Hongrie, etc., où reparaissent également le cobalt et le nickel.

2° Nous allons, au contraire, insister sur les gisements de cuivre gris[4], dans lesquels la gangue de sidérose ou de barytine (parfois des deux simultanément) est très constante, mais a pu souvent faire penser à la transformation superficielle de pyrite en milieu calcaire.

Il est certain que le développement du cuivre gris aux dépens de la pyrite cuivreuse avec traces d'antimoine peu apparentes, est un trait caractéristique de la zone de cémentation et que le plus grand nombre des filons qui vont être décrits ici, s'appauvrissent en profondeur, comme le font à peu près toujours les filons riches de cuivre à chalcosine, érubescite, etc., pour faire place en profondeur à de la pyrite plus ou moins cuivreuse. Beaucoup d'entre eux doivent être considérés comme un cas particulier dans les veines filoniennes de cuivre à sulfures complexes. Néanmoins,

[1] Coll. Ecole des Mines, 1956. — 1875. Gurlt. (Verh. d. naturh. Verh. d. Prov. Rheinl. u. Westph., p. 60). — 1894. Woods. *The Prov. of South Australia*, p. 258.

[2] Voir leur statistique, t. 2, p. 628.

[3] Tome 2, p. 349 à 356.

[4] 1877. Henry. *Gites de cuivre gris* (Ind. min., 14 juill.).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'association de l'antimoine sous la forme de cuivre gris doit correspondre à une particularité originelle et celle-ci entraîne fréquemment, comme nous allons le voir, la présence accessoire du mercure.

Les gisements de cuivre gris apparaissent spécialement développés le long des chaînes tertiaires. Nous en trouvons sur la longueur des Alpes, dans la Sierra Nevada, en Algérie, en Serbie, etc. Ils participent du caractère fâcheux qu'ont souvent les filons de ces chaînes récentes, encaissés dans des terrains non encore consolidés par le métamorphisme et trop meubles pour avoir permis des fractures bien nettes. Ils sont dispersés, irréguliers et coincés en profondeur. Leur métallisation appartient en principe au groupe complexe, étudié déjà au § VII, mais ici avec des caractères de déplacement plus facile par voie aqueuse que traduisent à la fois les carbonates et le mercure.

Nous avons déjà signalé l'association relativement fréquente du cinabre et de la stibine avec le cuivre gris. A leur défaut, on a souvent de la galène et de la blende. La présence des minerais de nickel et de cobalt, celle assez fréquente, de la molybdénite (Murtschenalp), de la tourmaline (Rosenau) pourraient d'abord sembler plus inattendues, mais correspondent au rapprochement si fréquemment signalé déjà entre le cuivre et les mêmes minéraux (§ VI). Parmi les gangues, il y a lieu de mentionner les carbonates qui dominent, et parfois la barytine, ailleurs la fluorine (Montieri, etc.). On a là un ensemble qui fait parfois penser à l'intervention possible de réactions presque superficielles.

On peut, d'autre part, attribuer une place spéciale aux cuivres gris arsenicaux (enargite), qui semblent correspondre à des conditions toutes différentes de celles des cuivres gris antimonieux.

Nous allons décrire ces gisements en suivant les chaînes de plissement dans l'ordre géographique : Sierra Nevada, Pyrénées, Alpes, Tyrol, Hongrie, Bosnie, Algérie, Transvaal.

Sierra Nevada[1]. — Les gîtes cuivreux de la Sierra Nevada sont dispersés autour de la région des grandes cimes : Mulhacen (3 481 m.), Veleta (3 398 m.), Alcazaba (3 330 m.). Ce sont des filons, dont le remplissage est formé exclusivement de sidérite, de chalcopyrite et de cuivre gris et l'on a trouvé parfois, aux affleurements, 8 à 10 kg. d'argent par tonne de cuivre gris. Malheureusement, ces filons, sans doute déjà brouillés et inconsistants dès l'origine, ont été, de plus, disloqués postérieurement à leur formation, avec les couches qui les encaissent, et sont devenus absolument discontinus. Cette irrégularité d'allure, jointe à la substitution habituelle, en profondeur, de la pyrite cuivreuse peu argentifère au cuivre gris, a causé de grandes déceptions. Aujourd'hui presque tous ces gîtes sont abandonnés : notamment Guadix, Santa-Constanza, Lantegra, Santa-Félicia, Trevelez.

Près des sources du Génil, sur le versant Nord, se trouve le groupe de Guéjar-Sierra, dont les filons sont également pauvres et inexploitables, à l'exception peut-être de ceux des environs de San-Andrès. Là il existe

[1] Coll. Ecole des Mines, 1645. — Rapports inédits de Fuchs et Cumenge. — 1893. THIBAIRENG. *Sur les filons de cuivre gris de la S. Nevada.* Bruxelles, 34 p.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

un filon de chalcopyrite avec veines de cuivre gris, renfermant aux affleurements environ 6 à 7 p. 100 de cuivre et 150 gr. d'argent à la tonne, soit de 70 à 75 fr. par m² de surface de filon.

Vers 1895, quelques bons résultats locaux et momentanés ont été obtenus dans cette province.

Région pyrénéenne. — Dans les Pyrénées, il existe quelques gisements analogues. A *Alzen* (Ariège)[1], on a exploité un moment, en 1899 et 1900, des poches à minerais de cémentation enrichis qui, après avoir donné, paraît-il, environ 2 à 3000 t. de minerais triés tenant 7 à 9 p. 100 de cuivre et 3 ou 4 kg. d'argent, semblent s'être coincées en profondeur.

Des filons du même genre ont été signalés à *Baigorry*, près Saint-Etienne en Navarre.

Signalons, à ce propos, divers petits gisements de cuivre sans importance, qui ont été reconnus et même concédés dans l'Aude[2], l'Hérault, etc. A Bellarade, près Cabrières dans l'Hérault, Vasseur a trouvé la preuve d'une exploitation préhistorique [3].

Dauphiné. — Dans l'Isère, nous nous contentons de rappeler ce qui a été dit du district d'Allevard, où la sidérite domine industriellement la chalcopyrite, qui lui est souvent associée [4].

Campiglia Soana[5]. — Dans la vallée de Soana, près d'Ivrée, Novarese a décrit des filons encaissés dans le gneiss, qui contiennent du cuivre gris, de la pyrite et de la jamesonite ($Pb^2Sb^2S^5$), avec du quartz et de la sidérite.

Vals Trompia et Sabbia (Lombardie) [6]. — Cette région, située à l'Est du lac d'Iseo, est très minéralisée, en même temps que très morcelée par des fractures complexes : flexures N.45°E. ; dislocations N. 110° E. venant de la région affaissée de la Lombardie et enfin fractures N.S. à N. 160° E., dont la faille de Schio, qui limite à l'Ouest la plaine de Vicence, paraît être, du côté Est, le terme extrême. Les filons recoupent tous les terrains et les roches de la région, les schistes cristallins, le permien, le trias et les mélaphyres, en produisant souvent des épanouissements au contact du permien et des schistes cristallins, ou des imprégnations dans la dolomie triasique. Ils renferment : tantôt des pyrites de fer et de cuivre (donnant à la surface, sidérose et cuivre gris avec baryte sulfatée), notamment au milieu des mélaphyres du Val Sabbia ; tantôt de la galène et de la blende (parfois transformée en smithsonite) avec de la fluorine.

[1] 1908. *La vérité sur les mines d'Alzen*, 84 p., Bordeaux (Gounouilhoux).

[2] Coll. Ec. d. M. : 2693 (Mt d'Alaric) ; 2697 (Boussac) ; 2697 (Saint-Polycarpe).

[3] (C. R. de 1911). On a recueilli, à l'entrée et aux alentours de la mine, un grand nombre d'outils primitifs en pierre.

[4] Voir tome 2, p. 354.

[5] 1903. Novarese. *Il giacim. antimon. di Campiglia Soana* (Boll. del R. Com. geol., n° 4).

[6] 1868. Fuchs. *Gis. mét. des vals Trompia, Sabbia et Sassina* (Ann. d. M., 6e, t. 13, p. 41). — *Gites métal.*, t. 2, p. 273. — L. De Launay. *Métal. de l'Italie*, p. 25. — Coll. Ec. d. M., 1521.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les filons de cuivre du *val Sabbia* forment des fentes nettes à travers les mélaphyres. On y rencontre, aux affleurements. un mélange d'oxyde, de carbonate, de chalcopyrite et de cuivre gris avec de la calcite et de la baryte sulfatée. Le plomb se trouve dans quelques filons, avec de la blende noire en mouches zonées, au milieu d'une gangue, composée : de baryte sulfatée à Dosselli, de calcite à Provaglio di Sotto.

Dans le *val Sassina*, on a des filons de galène, blende et chalcopyrite, avec gangue de dolomie, sidérose, quartz et barytine.

Enfin le *val Trompia* est la partie la plus minéralisée de la région. On a trouvé là quelques filons de sidérose exploités pour les fabriques d'armes des environs de Brescia et contenant des mouches de chalcopyrite et cuivre gris. Le filon d'Augusto contient de la galène avec de la fluorine ; celui dei Kemmi, le plus important de tous, qui n'a pas moins de 3 m. d'épaisseur, offre un remplissage double : au toit, quartz, pyrite et sidérose ; au mur, galène, fluorine et calcite. Il recoupe le grès rouge.

Kleinkogel, Brixlegg, Kitzbühel, Kupferplatten, etc. (Tyrol)[1]. — Les Alpes du Tyrol présentent d'assez nombreux gisements de cuivre gris argentifère et sidérose avec minerais sulfurés divers.

A l'Est d'Innsbruck, ces minerais cuivreux se localisent surtout dans la Schieferzone à Schwaz, Kleinkogel, Brixlegg, Kitzbühel, sur environ 60 km. de long.

Les filons de *Schwaz*, qui traversent la grauwacke, sont des veines minces (de 0,10 m. à 0,30 d'épaisseur), formées surtout de quartz, chalcopyrite et sidérite, avec tétraédrite et barytine accessoires, galène, bournonite, sulfures de nickel et de cobalt, blende et, exceptionnellement, traces de mercure.

Plus loin, au Nord-Est, se trouvent les filons de *Kleinkogel*, *Grosskogel et Matzenköpfel*, près Brixlegg[2], qui, pénétrant pour la plupart dans le calcaire dolomitique du trias inférieur, se chargent, par cela même, à la surface, de minéraux carbonatés de cuivre avec calcite et dolomie. A Grosskogel, les minerais sont, en outre, fortement barytiques. Les venues d'eau, très abondantes comme dans la plupart des gisements ainsi encaissés dans les calcaires, accusent bien le rôle présumé des altérations superficielles.

Les filons des environs de Brixlegg ont donné, aux affleurements, des cuivres gris antimonieux argentifères avec mercure, cobalt et nickel, dans une gangue de barytine, sidérose et calcite.

Un peu au Sud et dans le massif archéen, se trouvent les chalcopyrites légèrement aurifères de *Zell* sur la Zill.

Puis les mines de *Kitzbühel*[3] (Schattberg, Kupferplatte, Kelchalpe),

[1] 1906. L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 18. — Coll. Ec. d. M., 1115 et 1116.

[2] 1862. Stapff. *Ueber das Erzvork. an Kleinkogel* (B. u. H. Z., p. 134-138). — 1881. Journal des mines d'Autriche, p. 576. — 1905. Rose. *Tiroler Bergbau* (Z. f. B. H. u. S. W. im pr. St., t. 53, p. 199-203).

[3] *Bilder von den Kupferkies-Lagerstätten bei Kitzbühel par* G. Dörler (publ. officielle, Vienne, 1890 et 1891). 20 p. avec bibliographie, 60 sections de galeries, plus quatre grandes coupes de galeries en portefeuille.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

auxquelles il faut joindre les anciens gisements de Röhrebühel et de Sinwell, portent sur des intercalations, ramifications et lentilles de veines quartzeuses avec ankérite, chalcopyrite et cuivre gris argentifères dans les schistes siluriens, dirigés en moyenne E. W., mais très brouillés. Les sulfures de nickel, zinc et plomb apparaissent par traces. Les gisements, qui prennent souvent l'allure de filons-couches, présentent tous les caractères ordinaires de semblables imprégnations filoniennes en terrains schisteux.

A *Kupferplatten*, on connaît huit filons-couches parallèles, superposés, de 1,50 m. à 2 m., exceptionnellement de 5 m. d'épaisseur, contenant des noyaux et sécrétions de chalcopyrite, ou, plus rarement, de pyrite de fer, avec de la dolomie ferrugineuse et du quartz. Au voisinage des parties riches, on trouve un schiste encaissant dur et clair (lagerschiefer) ; au voisinage des parties pauvres, un « schiste sauvage » foncé, fissuré et irrégulièrement schisteux.

Un peu plus au Sud, les minerais de *Rauris*, entre Zell am See et Gastein (Salzburg), au Sud de la Salzach, rentrent également dans les types des minerais complexes, où le cuivre domine. La chalcopyrite, encaissée ici dans les terrains cristallins, présente cette particularité d'être légèrement aurifère.

Mitterberg (Salzburg)[1]. — A Mitterberg, près Werfen, au Sud de Salzburg, on connaît des filons de pyrite, chalcopyrite, cuivre gris, quartz, sidérose et ankérite avec oligiste, un peu de nickel, de cobalt, de cinabre et de réalgar. Les gisements sont encaissés dans des schistes métamorphiques tourmalinifères, qui ont été parfois imprégnés de mispickel.

Tantôt quartz, sidérose et pyrite de cuivre sont mélangés sans aucun ordre ; tantôt la sidérose et la chalcopyrite sont enveloppées de quartz.

Hieflau, Radmer, etc[2]. — A l'Ouest des minerais de substitution d'Eisenerz, le caractère filonien se montre dans la région d'*Hieflau*, de la *Radmer* et du *Zeyritz-Kampel*, où l'on observe un peu partout, avec la pénétration dans des terrains divers, grauwackes, schistes, etc., le rôle habituel en pareil cas des contacts entre calcaires et schistes, ainsi que le passage des pyrites aux ankérites et sidéroses retenant des noyaux de pyrite ou cuivre gris, puis aux calcaires stériles par l'intermédiaire des « Rohwand ». Parfois le mispickel apparaît (Altenberg près Neuberg, Gollrad) et l'on a même signalé des traces de cinabre. D'après Redlich, ces minerais auraient une relation avec des diabases transformées en schistes amphiboliques, c'est-à-dire avec des imprégnations basiques.

Altgebirg, Szlovinka, Kotterbach, etc. (Hongrie)[3]. — Dans le Nord de la Hongrie, on a, à Altgebirg et Herrengrund, soit dans les micaschistes, soit dans les schistes gréseux du trias (et alors sous forme de filons-couches)

[1] 1906. Bleeck. *Die Kupferkiesgänge von Mitterberg in Salzburg* (Z. f. p. G., p. 365-370).

[2] L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 21.

[3] 1905. Schafarzick. *Daten zur genauen Kenntnis des Szepes Gömörer Erzgebirges* (Mat. Nat. Ber. aus Ungarn, t. 25, p. 225-264).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des filons de cuivre gris, chalcopyrite, braunspath, sidérose, barytine, et quartz. A *Szlovinka* et *Göllnitz*, dans le comitat de Gömör-Zips, du cinabre s'associe aux mêmes minéraux.

A *Szlovinka*, les deux filons principaux, le filon Grobe et le filon Kahlehöh, se croisent et sont accompagnés de ramifications secondaires. Le filon Grobe est parallèle à la stratification et contient essentiellement des lentilles de chalcopyrite dans la sidérose avec un peu de cuivre gris argentifère, de chalcosine et de cinabre, du quartz et de la calcite. Le filon Kahlehöh, lui, est essentiellement quartzeux et contient peu de fer spathique. On y trouve des lentilles de chalcopyrite et, près de la surface, de l'or natif.

A *Kotterbach*, les deux filons exploités, filon Grobe et filon Drozdziakow, contiennent de la chalcopyrite, du cuivre gris parfois mercuriel, du cinabre et du mercure natif avec sidérose, du quartz et de la barytine. Les intercalations de schistes encaissants dans le gîte sont constantes et en élèvent la puissance jusqu'à 40 mètres.

Enfin le groupe de *Rosenau*, *Rudna*, *Sebespatak* présente des filons de sidérose, avec un peu de quartz, d'albite, et tourmaline, rappelant les remplissages pegmatoïdes qui s'associent aux minerais stannifères étudiés dans le paragraphe VI. On y rencontre des nids de pyrite et de tétraédrite faiblement argentifère.

Krésévo, Prozor, etc. (Bosnie) [1]. — L'association du cuivre gris et du cinabre est fréquente en Bosnie. Les filons suivent généralement des zones de dislocation entre le trias et le paléozoïque, à Maskara, Busovatza, Fojnica, Kresevo.

Kresevo est situé en Bosnie à la même latitude que Serajevo et à 32 km. de cette ville. Les gisements s'y trouvent à l'extrémité Sud d'un grand îlot de terrains triasiques et paléozoïques recoupés par des trachytes. Dans la partie minéralisée, on a affaire à des calcaires et dolomies du trias et à des schistes analogues aux schistes de Werfen. On y observe un grand nombre de filons de barytine renfermant des veines et mouches de cuivre gris irrégulièrement disséminées. Généralement le long d'une fracture, quelquefois très mince et difficile à retrouver, les calcaires ont été irrégulièrement rongés et les vides remplis de barytine ; c'est surtout dans l'axe de ces poches que se trouve le cuivre gris, parfois oxydé à la surface.

Tous les minerais ont une composition analogue qui, pour 35 de cuivre, comprend 30 d'antimoine, 2 à 3 de mercure et autant d'arsenic.

Dans la même région, le *Mont-Inac*, au N-W de Kresevo, renferme, dans le calcaire dolomitique, un filon de cinabre très irrégulier, mais également d'une richesse insuffisante.

Les deux substances, cinabre et cuivre gris, avec gangue de barytine, se trouvent encore associées dans le même filon, à *Prozor*, toujours en Bosnie, au voisinage d'un filon de cuivre gris argentifère à 200 gr. d'argent par tonne, avec sidérose et barytine, encaissé dans les schistes de Werfen. Nous reviendrons sur ces gîtes au chapitre du Mercure.

[1] 1907. KATZER. *Die Fahlerz und Quecksilberlagerst. Bosniens und der Herzegowina* (B. u. H. J. mont. Hochsch. Leoben., t. 55).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Gerfalco et Montieri (Toscane)[1]. — Nous retrouvons encore le même type sur la chaîne tertiaire des Apennins, par exemple à *Gerfalco* et *Montieri*, un peu au Nord de Boccheggiano, en Toscane, où des travaux très développés du moyen âge ont porté sur des veines de cuivre gris, parfois fortement argentifère, avec association de fluorine dans des calcaires liasiques très fissurés. La même association de fluorine avec du cuivre se retrouve dans l'île de *Giglio*.

Imsbach (Palatinat) et **Kamsdorf (Thuringe)**. — En dehors des chaînes tertiaires, les filons de cuivre gris sont rares.

Nous en citerons cependant deux exemples en Europe, un peu différents des précédents.

A *Imsbach* (Palatinat), des gisements cuprifères sont encaissés sous la forme de stockwerks et d'incrustations bréchiformes dans le porphyre quarzifère du Donnersberg et le métaphyre associé. Les minerais altérés de surface comprennent malachite, cuprite, chalcosine, cuivre gris et cuivre natif, avec un peu de galène et de blende dans une gangue de carbonates (calcite, braunspath et carbonate de manganèse).

Nous avons déjà cité, à l'occasion du nickel, les filons de *Kamsdorf* en Thuringe, qui renferment du cuivre gris et de la barytine, avec minerais de nickel et cobalt accessoires recoupant le contact des schistes cuprifères du Mansfeld[2].

Algérie (Gouraya, Mouzaïa, petite Kabylie, etc.)[3]. — L'Algérie présente de nombreux gisements de cuivre gris avec sidérose, ou avec ankérite[4], qui se rattachent nettement à l'ensemble de métallisation complexe décrit plus haut[5] et dont, à cette occasion, nous nous sommes déjà trouvé signaler la place. L'antimoine, qui, ailleurs, dans le même système métallogénique, s'est isolé en stibine, se trouve seulement ici associé avec le cuivre. Le mercure l'accompage parfois. Aucun de ces gisements n'a d'importance industrielle, quoique plusieurs d'entre eux aient donné lieu, au moment de leur découverte ou lors d'une tentative d'exploitation, à un enthousiame injustifié. Ils présentent tous, en effet, le caractère d'un enrichissement par cémentation superficielle, qui cesse à faible profondeur pour laisser des filons appauvris ; et les cassures minéralisées sont, en outre, trop souvent irrégulières. Nous allons les parcourir très rapidement.

Une première zone, nous l'avons-vu, se trouve au voisinage de la côte entre Ténès et Alger. Les gisements y comprennent de la chalcopyrite, du cuivre gris souvent argentifère, de la pyrite, de la galène, de la sidérose ou de l'ankérite, de la barytine et de l'hématite. Ces gisements sont en filons irréguliers : soit, à l'Ouest, dans les divers niveaux du miocène (tortonien

[1] 1906. L. De Launay. *Métallogénie de l'Italie*, p. 74-77.

[2] Tome 2, p. 600. — Voir plus loin, p. 783.

[3] Coll. Ec. d. M. : 1118 (Tadergount) ; 1120 (Teliouine) ; 1124 et 2779 (Mouzaïa) ; 1126 (Oued Allelah) ; 1127 (Sidi ben Aissi) ; 1158 (Gouraya), etc.

[4] Nous retrouvons cette gangue d'ankérite, c'est-à-dire de dolomie ferrugineuse, dans divers filons cuivreux d'Algérie : notamment, près de Bougie, à Oualil (voir plus haut t. 2, p. 734). Sa séparation d'avec les minerais de cuivre, très difficile à cause de leur densité analogue, semble aujourd'hui pouvoir être réalisée magnétiquement.

[5] Tome 2, p. 750 à 736.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

helvétien) ; soit plus à l'Est (Beni-Aquil), dans le crétacé (sénonien) [1]. Plusieurs d'entre eux ont donné lieu, au début de l'occupation algérienne, à des concessions, dont une seule a été exploitée avec une réelle activité: celles de *Oued Allelah*, près de Montenotte.

Plus loin sur la côte, les gisements, concédés mais inexploités, de *Gouraya, Aïn-Sadouna* et de *Messelmoun* forment la suite des précédents. Aux affleurements, ce sont des filons d'hématite, encaissés : aux deux premières mines, dans le sénonien ; à la dernière, partie dans le sénonien également, partie dans des marnes du miocène inférieur; mais, quand on s'enfonce, on voit vite qu'on est sur le chapeau ferrugineux de filons complexes. A Gouraya et Aïn-Sadouna, on a trouvé bientôt de la sidérose avec un peu de cuivre gris et de la barytine. A Messelmoun, l'hématite s'est trouvée accompagnée de galène, suivant une observation dont j'ai déjà fait remarquer la fréquence, quand nous avons étudié précédemment ces gisements de fer algériens.

Le gisement de *Mouzaïa*, à 10 kil. N.-N.E. de Médéa, a été un moment célèbre [2].

Près de Mouzaïa-les-mines, sur le versant Sud du djebel-Mouzaïa, constitué par l'ensemble schisteux ancien connu sous le nom de schistes de la Chiffa, il existe, soit dans ces schistes, soit surtout dans les calcaires et marnes du crétacé inférieur, de nombreux filons irréguliers de cuivre gris argentifère, avec sidérose et barytine, accompagnés, à la surface, par des dépôts d'hématite et passant, en profondeur, à des chalcopyrites. Ces mines, découvertes vers 1844, furent l'objet, vers 1853, d'une exploitation et surtout d'une spéculation très actives. On annonçait alors y avoir trouvé localement 4 et 5 kg. d'argent à la t. En profondeur, le cuivre gris a disparu, remplacé par de la chalcopyrite.

On peut encore citer, à peu près dans la même région, mais plus au Sud et déjà en plein massif crétacé, le gîte cuivreux de l'*Ouled Abed* (13,5 km. S.-48° E. de Blida), où un gros filon d'hématite dans l'albien et le cénomanien offre : à son mur, quelques veinules de cuivre gris ; à son toit, des indices de galène et de calamine.

Plus au Nord et en continuant à suivre la bordure Sud de la Mitidja, vers l'Est, on trouve *Oued Bouman* (12,5 km. S-33°W. de Rovigo) et *Oued Ouradzgea* (10 km. S. de Rovigo) : veinules de cuivre pyriteux et cuivre gris avec hématite, dans le cénomanien.

Au Sud et au Sud-Ouest de Bougie, dans la *petite Kabylie* [3], les gisements

[1] Burat, dans son *Traité des minéraux utiles* (5e édition, 1870, p. 308 à 313), donne la coupe du gisement de *Boukhandak*, où des veinules de chalcopyrite et sidérose sont irrégulièrement ramifiées. — Voir Collection Ecole des Mines : 1952. Gîtes d'Oued Allelah au cap Tenez et Oued Merdja, près la Mouzaïa ; 1878. Gîte de Beni Aquil.

[2] Ces gîtes, signalés d'abord par Rozet lors de la première expédition des Français au sud de l'Atlas, ont été décrits et figurés par Burat, dans sa *Géologie appliquée*. — Voir Cartes géologiques au 1 : 50.000 de Blida et de Médéa par Ficheur. — Ebelmen. *Analyse du cuivre de Mouzaïa* (Ann. d. M., 4e série, t. 11, p. 47). — Flagelot. *Sur la forme du cuivre gris de Mouzaïa* (Ann. d. M., 5e série, t. 3, p. 652). — 1896. Hennebert. *La Renaissance des Mouzaïa* (La Nature, t. 1, p. 283). — Dussert. *Gis. mél. de l'Algérie*, p. 64. — Une ligne de chemin de fer, reliant Blida à Médéa, passe maintenant à Mouzaïa. — Voir la carte, fig. 322, p. 731.

[3] 1882. Fuchs. *Sur le gîtes de fer et de cuivre gris de la Petite Kabylie* (Ass. Fr. Av. Sc.; Sess. 10, p. 567). Coll. Ec. d. M. — Voir la carte, fig. 323, p. 732.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qui ont surtout attiré l'attention autrefois, sont des filons complexes, pouvant renfermer : cuivre gris ou chalcopyrite avec sidérose et hématite, parfois barytine, accessoirement blende, calamine, pyrite de fer et galène. On les a considérés industriellement comme des gisements de cuivre gris argentifère et on a fait sur eux à diverses reprises (1866 à 1869, 1874, 1878 et 1898) des recherches sans grands résultats pratiques. Deux de ces gisements seulement ont été concédés : *Djebel Teliouïne* (26 km. S. — 10° E. de Bougie) et *Tadergount* (34 km. S. — 40° E. Bougie). Le Djebel Teliouïne, sur lequel on avait écrit des rapports enthousiastes, n'a donné aucun résultat. A Tadergount, où le filon est nettement caractérisé dans des schistes probablement liasiques, on a ouvert, en 1900 et 1901, au moyen d'un travers-banc, un niveau plus profond, au-dessous de ceux qui avaient été précédemment exploités, puis envahis par les eaux. Le filon, peu épais, a paru localement assez riche en cuivre gris.

Si l'on cherche à se faire une idée un peu générale sur toute cette région, on voit qu'il y existe, en résumé, une chaîne liasique, dont le plissement paraît antérieur au sénonien : caractère retrouvé également par Ficheur au Bou-Thaleb, où existent des poudingues sénoniens, renfermant des débris de lias remanié. Néanmoins, les émergences du lias se font, en général, par failles, suivant la forme d'une série de dômes, qui contrastent avec les grands plis allongés du Djurdjura. Autour de ces îlots liasiques, le crétacé est, presque entièrement, schisteux. Les filons imprègnent : soit des fissures à peu près interstratifiées de ces schistes, soit des fractures du calcaire liasique, pour la plupart sans continuité et vite coincées en profondeur.

Ces divers filons se rapprochent, par leurs caractères géologiques, de ceux que nous venons de rencontrer à Mouzaïa. Ils semblent toutefois en rapport bien plus direct avec des roches éruptives tertiaires, notamment à *Igzer el-Bghall* (18 km. S.-6° W. de Bougie), *Tagma* (16 km. S. 1° W. de Bougie), *Tizi-Hamed* (*Beni-Ham-rous*) (17 km. S.-40° E. de Bougie). La minéralisation ordinaire, qui commence par du cuivre gris et de l'hématite aux affleurements, passe, suivant la loi générale, plus ou moins vite, aux chalcopyrites, accompagnées de pyrite. En raison de la présence de cette pyrite, il s'est développé, par endroits, dans les calcaires massifs du lias qui se prêtaient à la substitution, des amas irréguliers d'oxyde de fer, ayant fait l'objet d'anciens travaux importants.

La zone métallifère principale, à peu près Est-Ouest (de 40 km. de long), comprend *Aït-Abbès*, *Teliouïne*, *Tadergount*, *Tizi-Ouzal et Babor*. A Tizi-Ouzal, le gîte est en contact direct avec la roche éruptive. A *Beni-Felkai* (36° S.-44° E. de Bougie), on a reconnu un puissant filon ferrugineux, avec rares pénétrations de cuivre gris dans le lias.

D'après Curie et Flamand, la série pétrographique de cette région, avec laquelle nous supposons les filons en relation, est formée de roches tertiaires recoupant le sénonien et probablement l'éocène ; elle présente des granites amphiboliques et des granulites, parfois mouchetées de pyrite de fer. Il existe, en outre, des trachy-andésites et des liparites.

Transvaal. — Le type de filons étudiés dans ce paragraphe, ayant une valeur généralement très momentanée, a été peu signalé en dehors de l'Eu-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rope et de l'Algérie. Cependant nous en connaissons des exemples au Transvaal.

La région, caractérisée par les intéressantes intrusions éruptives à magma sodique du Bushveld[1], contient un grand nombre de gîtes, qui, ainsi que ces roches elles-mêmes, doivent être d'âge intermédiaire entre la série de Prétoria (fin de la période ancienne), et les dépôts du Karoo. Ces gîtes se trouvent sur plusieurs zones parallèles de direction Est-Ouest.

La zone de la *Willows-silver mine*, des mines de *Boschkop*, de *Oudezwaanskraal*, et de la *Transvaal-silver mine*, présente une série de filons, à peu près verticaux, où les minerais sont généralement associés avec une diabase, dont ils paraissent dériver (par exemple dans la Willows-mine). Ces minerais appartiennent au type des sidéroses avec cuivre gris antimonieux (panabase), parfois argentifère, azurite, malachite, etc. La sidérose est assez riche en magnésie et en manganèse. D'un brun clair à l'état frais, elle passe rapidement au brun noirâtre en s'altérant. Dans la Transvaal-silver-mine, on trouve, en même temps, de la galène, de la cérusite et de la crocoïse ; à Oudezwaanskraal, de l'arsenio-pyrite.

IX. — GISEMENTS DE CUIVRE NATIF DU LAC SUPÉRIEUR ET DE COROCORO

Le cuivre natif apparaît assez fréquemment dans les produits d'altération superficiels, sur les affleurements de gîtes cuprifères divers, associé avec les carbonates et avec la chalcosine ; nous en avons cité de nombreux exemples et nous en retrouverons d'autres encore quand il sera question, au paragraphe X, des grès cuprifères. Mais il existe également des gisements, où le cuivre natif forme l'élément essentiel de la minéralisation et persiste, pour une cause encore mal démêlée, aux profondeurs extrêmes des travaux : 2 000 m. au Lac Supérieur ; 480 m. à Corocoro.

Le meilleur type de ces gisements est celui du Lac Supérieur, auquel nous allons consacrer un paragraphe spécial en raison de son importance et de sa complexité.

C'est, comme nous allons le voir, une formation complexe de terrains et roches précambriens, à conglomérats dominants, imprégnée de cuivre natif. A bien des égards, on peut en rapprocher l'autre grand gisement industriel de cuivre natif, situé à Corocoro en Bolivie, dans lequel l'imprégnation cuivreuse a surtout porté sur des grès crétacés et remonte donc apparemment à l'époque tertiaire. Ce second gisement se distingue cependant du premier par l'apparition de l'arséniure de cuivre accompagnant le cuivre natif et par le développement des minerais oxydés et carbonatés, qui représentent sans doute à la surface l'altération des sulfures profonds. L'origine de ces deux gisements a bien des chances pour être épigénétique, malgré certaines apparences d'interstratification locale. Nous les séparons des grès cuprifères examinés dans un paragraphe suivant pour mettre en évidence la prédominance du cuivre natif qui les caractérise.

Rappelons d'ailleurs que, dans le paragraphe I, nous avons déjà signalé[2]

[1] Voir plus haut, t. 1, p. 81 ; t. 2, p. 64 et 317.

[2] Tome 2, p. 611 à 644.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de nombreux cas d'amygdales à cuivre natif dans les mélaphyres (Nassau, Yunnan, Madagascar, Sommerville à New-Jersey, etc.).

1° LAC SUPÉRIEUR [1]

Les gisements du Lac Supérieur, qui ont occupé longtemps la première place dans le monde et qui, encore aujourd'hui, ne sont surpassés que par ceux de l'Arizona et du Montana, se présentent dans des conditions métallogéniques tout particulièrement obscures. Ils offrent, en effet, comme nous venons de le dire, jusqu'à la profondeur la plus grande que l'on ait jamais atteinte dans une mine, à près de 2 000 m., des types de minerais et d'associations minérales que, partout ailleurs, nous sommes habitués à considérer comme des produits d'altérations et de circulations aquifères superficielles. On peut ajouter qu'ils nous les présentent parfois en masses exceptionnellement volumineuses.

Nous allons commencer par décrire ces gisements et nous verrons ensuite quelles explications on peut proposer à leur sujet.

Géologie de la région. — Les gisements, dits du Lac Supérieur, sont situés, comme le montre notre figure 327, dans la pointe de Keweenaw qui s'avance au Sud-Ouest dans le Lac et, très accessoirement, dans l'île Royale et sur la rive N. W. canadienne.

[1] 1772. Relation de ce qui s'est passé à la Nouvelle-France dans les missions de 1632 à 1772. — 1809. HENRY. *Voyage au Lac Supérieur*. — 1845. JACKSON. *Lettre sur le gisement de cuivre et d'arg. nat. des bords du lac Supérieur* (B. S. G. F, 2e, t. 2. p. 317, et 2e, t. 7, p. 667). — 1850. FOSTER et WHITNEY. *Carte géologique du lac Supérieur et Rapport sur la géol. et la topogr. d'une partie du lac Supérieur*. — 1850. AGASSIZ. *Lac Supérieur; ses caract. physiq.; sa végétation et sa faune*. — 1854. WHITNEY. (Metallic. wealth of the United states). — 1855. RIVOT. *Voyage au lac Supérieur* (Ann. d. M., 5e, t. 7, p. 173). — 1869. CREDNER. *Beschr. ein. charak. Vork. des gedieyenen Kupfers auf Keweenaw Point* (N. J. f. Mn, p. 1-14). — 1872. RAPHAEL PUMPELLY. *The Paragenesis and derivation of Copper* (Am. Journal, 3e série, t. 2, p. 194-243 et 347). — 1874. T. V. IRVING. *The Copper bearing Rocks of Lake Superior* (New Haven Amer. journ. of sc. and arts, 3e, t. 8, p. 46). — 1877. MOSLER. (Z. f. Berg. u. H. im preuss. St., t. 25, p. 212). — 1877. GILPIN. *Recent discoveries of Copper in Nova Scotia* (Q. J. g. soc. London, nov.). — 1877. HUNT. (Eng. and min. of New-York, août, p. 109). — 1877. HAUCHECORNE. *Ueber gediegenen Kupfer aus der Grube Calumet and Hecla.* (Geol. Gesel., t. 29, p. 846). — 1878. PUMPELLY. *Metasomatic development of the Copper bearing...* (Proc. Am. Ac., t. 13, p. 253-309). — 1877 à 1880. MOSLER. *Kupfer Bergbau am Obern See* (Z. f. B. u. H. im. pr. St., t. 25, p. 203; t. 27, p. 77; t. 28, p. 210). — 1881. E. WADSWORTH. *Notes on the geology of the Iron and Copper districts of the Lake Superior* (Bull. of the Mus. of comp. Zoology. Geological series, n° 1. Cambridge (Etats-Unis); et Proc. of Boston natur history, t. 21, p. 3). — 1883. IRVING. *The copper bearing rocks of Lake Superior* (Mon. of the Un. St. geol. Surv., t. 5) (Voir p. 14, une bibliographie complète des travaux antérieurs). — 1883. T. C. CHAMBERLIN. *The copper-bearing series of Lake Superior* (Science de Cambridge, U. S., t. 1, p. 453). — 1883. STERRY HUNT. *The geology of lake Superior*. — 1884. WOOSTER. *Transition from the Copper-bearing series to the Potsdam* (Am. J. of Sc., 3e série, t. 28, p. 463. Newhaven). — 1888. CUMENGE et LA BOUGLISE. *Rapport sur la mine Calumet and Hécla*. — 1900. BLANDY. *The origin of the native copper in the Michigan deposits* (Eng. 8 sept.). — 1901. LANE. *Geol. rep. on Isle Royale* (Michigan) (Geof. Surv. of Michigan, t. 6, 181 p.). — 1901. HUBBARD. *Keweenaw point, with. partic. refer. to the felsites* (Geol. Surv. of Michigan, t. 6, 1911). — 1911. VAN HISE et LEITH. *The geol of the Lake Super. Region* (U. S. Geol. Surv., 640 p.). — Coll. Ec. d. M.: 1526, 1599; 2699 (Quincey et Ontonagon); 2702 (Calumet); 2703 (Atlantic).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Cette région est classique en géologie comme offrant le type de la « plateforme primitive », avec cambrien horizontal reposant sur une série plissée, dans laquelle s'intercale une discordance entre les gneiss archéens et le Keweenawien, ou précambrien (fig. 327)[1]. Les mouvements y ont été terminés avant le cambrien, et, depuis cette période lointaine, il ne s'est plus produit que ces lents déplacements en masse d'un compartiment entier, qui amènent les transgressions ou les régressions horizontales des mers, avec longues émersions continentales dans l'intervalle. Tous les phénomènes de plissement, de dislocation, d'éruption volcanique et de

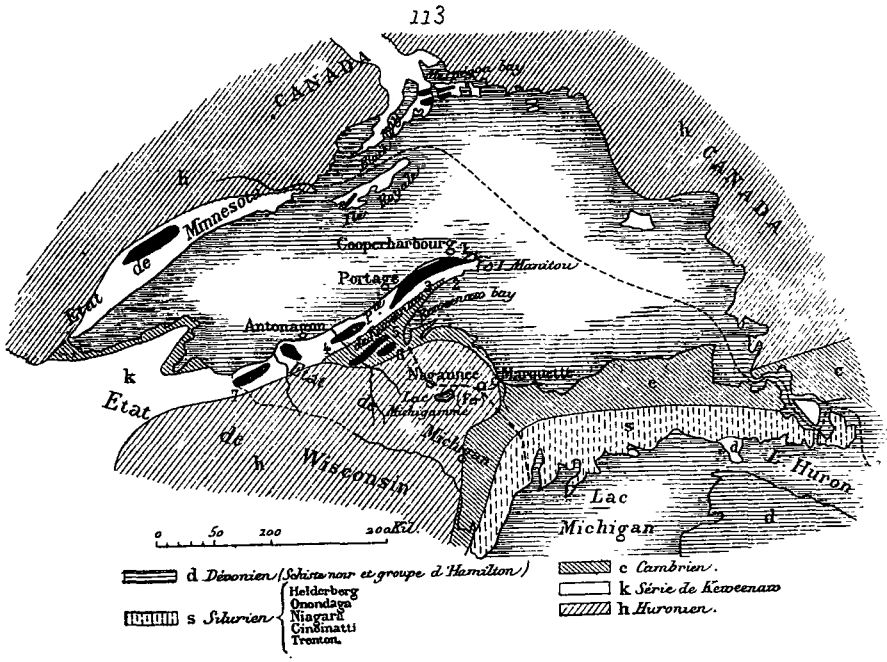


Fig. 327. — Carte géologique de la région du Lac Supérieur (d'après Irving).
1. Copperfels. — 2. North-Westh. — 3. Cliff. — 4. Minesota. — 5. Toltek. — 6. Adventure. — 7. Ridge.

métallisation, qui, en Europe, se sont produits à l'époque hercynienne ou à l'époque tertiaire, y datent du précambrien. Et, par un concours de circonstances remarquable, ils nous ont été exceptionnellement conservés : en sorte que nous avons là un type à peu près unique de manifestations ignées extérieures remontant à cette période si reculée[2].

Ces circonstances tiennent évidemment à l'enfoncement d'un grand voussoir, qui, jadis situé au-dessus du niveau des mers à une altitude indéterminée, est descendu s'encastrer à une profondeur telle que les érosions subséquentes n'ont pas pu l'atteindre. Le mouvement avait été précédé par le creusement d'un géosynclinal considérable, puisque les séries de

[1] Voir plus haut, tome 2, page 449.
[2] Voir la *Science géologique*, p. 402.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

grès et conglomérats passent pour avoir 6 km. d'épaisseur. Puis avait dû se produire la surrection due au plissement. La reprise de l'affaissement sous une forme atténuée a continué à creuser la cuvette du Lac Supérieur, avec la disposition synclinale qu'accuse sa coupe (fig. 328), et c'est par-dessus ce compartiment déprimé qu'est revenue la mer cambrienne.

Nous nous représentons volontiers la région comme ayant, avant la fin de l'époque précambrienne, pris un véritable relief montagneux, dont témoignent notamment les anciennes formations de conglomérats que nous décrirons bientôt. La chaîne, qui devait exister surtout au N.W, a été poussée par-dessus un avant-pays situé au S.E., de la même manière que le long des Alpes ou le long du sillon houiller hercynien d'Europe et c'est ainsi que nous serons tout à l'heure conduits à imaginer un peu audacieusement, une action d'altération superficielle sur des minerais encaissés dans cette chaîne, qui, plus tard, se sont enfoncés jusqu'à 2 km. de profondeur au-dessous du plateau actuel.

Insistons encore sur les probabilités d'un renversement. Les couches

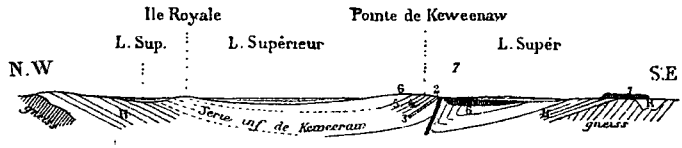


Fig. 328. — Coupe N.W.-S.E. de la région du Lac Supérieur.

H. huronien (quartzites et minerai de fer). — 1, diabases, gabbros et mélaphyres. — 2, porphyres quartzifères. — 3 et 5, diabases et mélaphyres amygdaloïdes. — 4, grès et conglomérats intercalés. — 6, schistes et grès rouges. — 7, grès de Postdam (Cambrien discordant).

cuprifères précambriennes se présentent, le long de la grande faille indiquée sur la fig. 328, dans une position telle que Wadsworth a pu les supposer superposées au cambrien. On a constaté, en effet, dans le comté de Douglas, que près de 1 000 m. de grès étaient là retournés.

Dans cette région se trouve ainsi subsister une remarquable série précambrienne de roches acides et basiques intrusives, ou même effusives, alternant avec des grès et des conglomérats, comme ailleurs on le constate si fréquemment dans le groupe tertiaire et c'est dans cette série qu'apparaît le cuivre, associé aux roches ignées, comme les minerais de l'Ouest Américain, du Mexique, ou des Andes, peuvent être associés à des roches tertiaires.

A la base de la coupe on constate donc le huronien plissé, avec schistes micacés, quartzites et avec les minerais de fer étudiés précédemment, à l'occasion desquels nous avons déjà eu à constater l'effet d'une très longue et très complète altération continentale[1]. Puis vient, après une première période d'érosion[2], la série cuprifère pré-cambrienne de Keweenaw, qui forme un bassin synclinal de 100 000 km.², des deux côtés duquel on retrouve symétriquement des terrains analogues, épais de 5 à 6 000 m., dont le tiers, au moins, est formé par des roches éruptives, en partie intrusives. Un accident tectonique, représenté synthétiquement par une

[1] Voir plus haut, tome 2, pages 449 à 458 : notamment pages 451 et 455.

[2] Van Hise et Leith. *Loc. cit.*, p. 378.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

faille, met, au Sud, cette série éruptive en contact avec les grès cambriens de Postdam, surmontés plus loin horizontalement par des buttes de calcaire de Trenton.

La *série éruptive* comprend, d'après les géologues américains, des coulées analogues à celles des laves (diabases scoriacés et amygdaloïdes, porphyres quartzifères, etc.), ayant une pente générale, qui peut atteindre rarement 45 à 60° vers le lac et, d'autre part, des roches intrusives, telles que des anorthosites, gabbros, etc.[1]. Sa composition est la suivante.

A la base, viennent des diabases, des gabbros à gros grains, avec et sans olivine, et quelques roches uniquement formées d'anorthite. Plus haut, apparaissent des diabases à grains fins, passant à des porphyrites et à des mélaphyres avec lits amygdaloïdes ; les amygdales, en général disposées à la partie supérieure des coulées, sont souvent remplies, par une action secondaire, de calcite, chlorite, quartz et cuivre natif. Des lits de conglomérats, plus rares à la base, alternent avec ces roches.

Puis on trouve une couche puissante de porphyres quartzifères, en partie pétrosiliceux, dépassant 1 000 m. d'épaisseur. Au-dessus, des diabases et mélaphyres amygdaloïdes (3 et 5 de la fig. 328) alternent, de nouveau, avec des sables et conglomérats (4). Enfin, la partie supérieure est composée de grès, schistes et conglomérats, atteignant encore 5 000 m. de puissance : terrains présentant des variétés de grès rouges très analogues aux grès rouges des séries plus récentes de l'Europe et marquant probablement, comme ceux-ci, une altération continentale et désertique sur les matériaux remaniés d'une chaîne montagneuse, où auront été remis en mouvement des sels de fer.

Les lits détritiques, qu'on voit intercalés à divers niveaux dans la série, mais particulièrement à son sommet, sont formés surtout de fragments de roches acides : ce qui les a fait considérer comme venant souvent d'une destruction presque contemporaine de leurs coulées, qu'Irving supposait en conséquence (peut-être sans nécessité), sous-marines. Leur production est en rapport avec le mouvement d'affaissement du fond du synclinal du lac Supérieur et avec le phénomène de rapprochement de ses bords, qui s'est poursuivi pendant tout le dépôt de la série.

Gîtes métallifères. — Le cuivre est connu exclusivement dans la série de Keweenaw, habituellement sous forme de cuivre natif, rarement à l'état d'oxyde et de sulfure, et toujours en relation avec les roches basiques vacuolaires ou altérées, jamais avec les roches acides.

On l'y trouve sous trois formes principales, qui ont évidemment une même origine et qui doivent être expliquées simultanément :

α. Filons de fracture à Copperfels ;

β. Grès et conglomérats à ciment cuprifère (Calumet and Hecla) ;

γ. Imprégnations cuprifères dans les mélaphyres et roches altérées (Portage, Copperfels, Concorde), qui constituent le minerai principal.

Pratiquement, on n'exploite que ce qu'on appelle les conglomérats et les amygdaloïdes : les remplissages de fractures étant trop pauvres.

α. **Filons de fracture.** — Les fissures minéralisées, présentant l'aspect de

[1] Van Hise et Leith. *Loc. cit.*, p. 371.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

filons de fracture, sont connues en divers points de la presqu'île de Keweenaw, où elles forment une traînée parallèle à l'allongement de la péninsule depuis Ojibway et Ahmeek au N.-E., par Osceola, Calumet, Quincy, Atlantic, jusqu'à Globe au S.-W.[1]. Elles s'y présentent avec des largeurs très variables, pouvant atteindre jusqu'à 10 m., mais habituellement restreintes entre 1 et 3 m. Au filon Cliff, la largeur est de 0,30 m. à 1 m. ; au filon Owl-Creek de la mine Copperfels, elle atteint 8,50 m. Les parties riches s'y rencontrent uniquement dans les diabases amygdaloïdes ou à texture lâche, tandis que les roches compactes et massives contiennent à peine de cuivre ; et cette relation de la richesse avec la porosité des roches encaissantes se retrouve, jusqu'à un certain point, à l'intersection des bancs gréseux, aisément explicable par une pénétration aquifère ultérieure. Les filons, souvent presque verticaux, ne se présentent pas, en général, sous forme de fractures nettes, mais sous forme d'une imprégnation progressive des épontes partant d'un réseau de fissures plus ou moins complexe et affectant, par suite, l'allure d'un stockwerk. Le remplissage comprend : quartz, calcite et prehnite, avec des zones de laumontite, d'apophyllite, d'épidote, exceptionnellement de la fluorine et des débris décomposés des roches voisines. Les veines uniquement formées de calcite sont généralement stériles. L'existence de ces zéolites, que nous connaissons d'ordinaire comme des minéraux d'altération, est à retenir ici. Le cuivre natif, associé avec un peu d'argent, est, soit en veines, soit en masses, qui peuvent peser jusqu'à une tonne. On en a même trouvé une de 420 t. en 1837 à la mine de Minnesota.

L'origine et le rôle de ces veines filoniennes dans la formation cuprifère ont été l'objet de grandes discussions. On les a parfois considérées comme de véritables filons, ayant servi de chenaux d'arrivée au cuivre, qui se serait répandu de là dans les terrains encaissants. C'était la théorie exposée, tout au début des exploitations, par Rivot ; suivant lui, l'action électrique des diabases (trapps) aurait été la cause de la précipitation du cuivre apporté par ces fractures, à la rencontre de ces roches. L'hypothèse d'une action précipitante des mélaphyres a été reprise par Pumpelly et van Hise, mais sous une autre forme, en admettant que le cuivre avait été cémenté par des grains de magnétite provenant des silicates, avec transformation de la magnétite en peroxyde (explicable de toute façon par l'altération connexe signalée plus loin). La plupart des auteurs américains admettent aujourd'hui l'idée d'une sécrétion latérale ayant pour origine une faible teneur en cuivre, disséminée au début dans les mélaphyres. Pour Irving, le remplissage de ces veines résulte uniquement, comme celui des amygdales des diabases dont nous parlerons plus loin[2] et par un phénomène connexe, de la circulation d'eaux ayant produit, par remise en mouvement secondaire, le dépôt du cuivre. Les veines, à son avis, correspondent assurément à des fissures préexistantes du terrain que les eaux ont suivies, au lieu d'épouser, comme ailleurs, les plans de stratification ; mais le filon que nous voyons aujourd'hui n'a pas les dimensions de cette fente préexistante : il est le résultat d'une imprégnation partie d'une fis-

[1] Voir la pl. 49, p. 574, dans Van Hise, *loc. cit.*

[2] Page 753.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sure mince pour se répandre dans les roches encaissantes. Et il en donne comme preuves : l'existence de fragments nombreux de ces roches restés au milieu du réseau du stockwerk ; la façon dont ces roches se sont altérées en se chargeant de cuivre ; surtout la plus large extension des filons en même temps que leur richesse plus grande à la rencontre des roches poreuses et attaquables ; enfin, la coïncidence, à la traversée des mêmes bancs, entre le développement des veines et celui des amygdales cuprifères. Tous ces arguments prouvent assurément que ces filons sont, en grande partie, des filons d'imprégnation latérale et non d'incrustation, et qu'ils ont été produits par la même circulation d'eaux qui a déposé le cuivre dans les couches stratifiées ; mais ils ne nous apprennent rien, ni sur l'origine première du cuivre, ni sur le mode de circulation des eaux qui ont déposé ce métal.

β) **Dépôts stratiformes.** — Les grès et conglomérats, où l'on trouve du cuivre natif, sont à peu près uniquement les bancs minces intercalés au milieu des couches de diabase ; cependant, on connaît un banc cuprifère unique dans les couches purement détritiques du Keweenawien supérieur ; c'est celui de Nonesuch dans les montagnes Pourcupine. Ce banc, qui a été suivi sur 200 km., contient du cuivre en plusieurs points.

D'une façon générale, le cuivre se présente dans ces terrains, soit comme un ciment (Calumet and Hecla) rappelant alors singulièrement les conglomérats aurifères du Witwatersrand, soit encore comme un produit de substitution dans le corps des grains cimentés et, toujours, incontestablement, comme un produit apporté du dehors par les eaux. Il semble rarement avoir rempli des interstices, mais, le plus souvent, avoir remplacé des éléments préexistants. C'est ainsi que, dans le grès de Nonesuch, on trouve fréquemment, au cœur du cuivre, des grains de magnétite.

Lorsque le métal existe dans les grains ou galets eux-mêmes, il se trouve surtout dans les feldspaths altérés, dont il a d'abord suivi les directions de clivage.

Le cas d'un ciment métallifère se présente, par exemple, à la fameuse mine de *Calumet and Hecla*, où l'on exploite surtout une lentille de conglomérat cuprifère renfermant de très nombreux fragments de porphyre pétrosiliceux peu altérés, avec un ciment où la plupart des feldspaths ont été remplacés par du cuivre. Cette altération, comme l'a montré Pumpelly, a eu pour corollaire un développement de chlorite et d'épidote, toujours fréquentes au voisinage du cuivre, ainsi que nous le verrons mieux dans la troisième catégorie de gisements. La teneur est descendue peu à peu de 4 p. 100 à 1 p. 100 en s'enfonçant.

γ) **Imprégnations cuprifères dans les mélaphyres et roches altérées.** — Les eaux cuprifères, quels que soient leur origine et leur mode de circulation, ont, en même temps qu'elles pénétraient dans les grès et conglomérats, imprégné les vacuoles et fissures des roches ignées rencontrées sur leur passage. Elles l'ont fait d'autant plus que ces roches étaient plus altérées, avec formation d'épidote, chlorite, etc.. L'association de ces minéraux d'altération avec le cuivre est si manifeste qu'elle a été constatée pratiquement par tous les mineurs : c'est-à-dire que nous retrouvons

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ici, comme nous l'avons déjà fait observer à propos des zéolites dans les filons de fractures, un rapprochement singulier du cuivre natif avec les minéraux d'altération, rapprochement qui est fréquent et très connu ailleurs sur des affleurements, mais qui ici se continue à des profondeurs anormales.

Un premier type de ce genre nous est fourni par les *amygdales métallisées des diabases :* en particulier, autour du lac *Portage,* où ces amygdales sont l'objet d'une grande exploitation.

Evidemment, le cuivre a été introduit là, postérieurement à la consolidation, dans une roche amygdaloïde analogue à celles qu'on trouve dans toutes les coulées volcaniques. Il y a pénétré par porosité, en suivant les clivages des minéraux, en s'infiltrant dans tous les vides et y a cristallisé par substitution, à la place souvent d'amygdales de calcite. C'est pourquoi, lorsqu'on ne trouve que de la calcite intacte dans les amygdales d'une roche diabasique peu altérée, on a peu de chances de rencontrer du cuivre. En même temps qu'il se déposait du cuivre, il s'est, en effet, développé de l'épidote, de la prehnite, etc., qu'on trouve associées à une portion de la calcite non décomposée, aujourd'hui gangue du minerai. Le cuivre n'existe pas d'ailleurs que dans les amygdales ; il a pénétré également dans la pâte de la roche, partout où son altération le lui permettait.

Les amygdales de la mine *Copperfels*, qui peuvent nous servir d'exemple, sont souvent remplies de cuivre natif. Le cuivre, provenant de ces cavités arrondies, dont le diamètre varie depuis celui d'une tête d'épingle jusqu'à celui d'un pois, est désigné par les mineurs sous le nom de cuivre en grains. Ces grains sont, tantôt isolés les uns des autres dans la pâte du mélaphyre, tantôt réunis par de petits fils de manière à former comme des grappes de raisin. On connaît aussi, à la même mine, des cavités courbes de 5 à 8 cm. de longueur entièrement pleines de cuivre, produisant ce qu'on appelle des clous de cuivre. Là où les amygdales ne sont pas complètement remplies de cuivre natif, le minerai y est accompagné d'argent natif, de calcite, de quartz, de chlorite, de laumonite rouge, de prehnite, d'analcime, d'épidote, de datolite, d'oligiste, etc. Les zéolites, qui y sont fréquentes, sont, comme nous l'avons déjà remarqué, des preuves de l'intervention des phénomènes aqueux dans leur remplissage.

Un autre type extrême d'imprégnation cuprifère dans une roche altérée se présente sous la forme de véritables épidotites cuprifères, dont le gîte de *Concorde* fournit un excellent exemple.

Il s'agit là d'une couche de diabase amygdaloïde, remplie d'amandes et de cordons de quartz, de calcite et de laumonite, qui est souvent remplacée par un mélange d'épidote et de quartz, constituant une épidotite. Ce mélange est pétri d'amygdales et traversé par des veinules de quartz, de calcite et de pistazite (épidote vert bouteille) finement cristalline. Le cuivre natif se trouve, dans l'épidotite, en forme de houppes, de grains, de feuilles, de cordons anguleux et souvent ramifiés, et aussi en masses de plusieurs quintaux. Il est accompagné d'argent natif. La puissance du gîte de Concorde varie entre 0,30 m. et 9,30.

Enfin l'on est quelquefois ramené à des sortes de fissures métallisées,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

analogues au premier type : par exemple, dans la région d'Ontonagon, à la mine autrefois fameuse de *Minnesota*, où l'on trouve des masses de cuivre avec épidote et calcite.

Comme conséquence pratique de cette description, Irving indique, pour la *recherche des gisements de cuivre*, certaines règles, qui précisent en même temps des faits utiles à notre théorie :

1° On doit s'attacher de préférence aux diabases altérées et amygdaloïdes contenant surtout de l'épidote, de la prehnite et de la chlorite; celles où l'on trouve la laumonite sont rarement riches, et celles où la calcite prédomine presque toujours stériles;

2° Parmi les grès et conglomérats, on doit toujours s'attacher aux bancs minces intercalés au milieu des diabases;

3° Le Keweenawien supérieur, à l'exception des grès de Nonesuch, n'est pas cuprifère.

Pratiquement, les gisements principaux sont ceux du Nord de la presqu'île de Keweenaw, déjà signalés à propos de leur statistique : *Portage*, avec amygdales cuprifères; *Calumet and Hecla*, la plus grande mine du lac Supérieur, et presque la plus grande du monde (32 700 t. en 1911), avec conglomérats, filons et roche amygdaloïde ; *Quincy ; Osceola* (près de Calumet); *Central Mine* (la mine où l'on trouve les plus grandes masses de cuivre natif), puis *Copperfels*, avec amygdales et fractures ; *Cliffmine; South-Cliff*, également avec filons; *North-Western*, etc. : mines pour la plupart alignées (sauf Quincy et Copperfels) sur une zone de diabases et mélaphyres avec conglomérats intercalés.

La région d'*Ontonagon*, plus au Sud, comprend la mine *Minnesota*, où le cuivre se trouve disséminé dans les mélaphyres en bancs généralement parallèles à la stratification.

Mode de formation des gisements. — Un premier fait capital nous paraît nettement résulter de toute cette étude, c'est que les gisements du Lac Supérieur représentent un type colossal de remise en mouvement et de concentration aquifère analogue, dans ses effets, sinon par ses causes, à ceux que nous sommes habitués à rencontrer en petit sur les affleurements, mais avec intervention d'eaux échauffées par leur pénétration profonde.

Nous rappelons, par exemple, ce qui a été dit sur les mélaphyres et diabases cuprifères de Madagascar, de Sibérie, etc.[1] Nulle part, il ne semble que l'on exploite ici le gisement primitif du cuivre. Le cuivre a été concentré, après coup, à sa place actuelle, par des eaux d'origine indéterminée, peut-être superficielle, qui ont pénétré dans tous les terrains et roches en profitant de leurs fissures, de leurs vacuoles, de leur porosité. Sa précipitation ressemble souvent à un dépôt galvanique et la diminution de teneur en profondeur correspond évidemment à un phénomène parti de la superficie à une époque plus ou moins ancienne, comme toutes les altérations dont il a été si souvent question dans cet ouvrage.

On peut également admettre avec beaucoup de vraisemblance que ce gisement primitif est en rapport avec les venues éruptives de méla-

[1] Tome 2, p. 642 à 644.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

phyres qu'il accompagne si constamment. Mais quand et comment le cuivre s'en est-il séparé? C'est le point, à notre avis, tout à fait discutable. Le cuivre, qui a été introduit par le dehors dans les amygdales des mélaphyres ou dans leurs parties transformées en épidotites, avait-il commencé par être extrait des mêmes roches sous forme de sécrétion latérale dans la même circulation aquifère? Ou bien le départ s'était-il d'abord fait antérieurement quand la roche était chaude encore, sous une forme filonienne dont il ne reste à peu près plus trace? L'état d'altération où nous observons le gisement ne permet guère de le dire. Il faudrait, pour s'en rendre compte, retrouver, en profondeur, des zones à sulfures, qui existent, comme nous l'avons vu précédemment ailleurs pour des gisements comparables : par exemple, pour celui de Sommerville à New-Jersey[1].

En tout cas, nous croyons que cette altération, ou sécrétion latérale, est très ancienne; elle est, pour nous, ainsi que nous l'annonçions au début, l'effet d'une action continentale exercée à l'époque précambrienne, quand le relief du sol était totalement différent de ce qu'il est aujourd'hui et quand les parties les plus profondes du gîte étaient peut-être encore accessibles à ces eaux actives, qui ne descendent guère d'ordinaire au-dessous du niveau hydrostatique.

Industrie. — Industriellement, les exploitations du Lac Supérieur remontent très loin, comme cela se comprend aisément pour des minerais aussi aisément reconnaissables et utilisables. On y a retrouvé des traces de travaux effectués avec des instruments de pierre et arrêtés par les dimensions des blocs à découper. En 1856, on produisait déjà 2 000 t. de cuivre. En 1882, on était à 25 900 t. En 1909, on a atteint 102 000 t[2]. Les minerais, malgré la présence du cuivre natif, et de ses grosses masses légendaires, ont, en moyenne, une teneur assez faible (1,87 p. 100 à Osceola). Le prix de revient est en conséquence assez élevé (1 200 à 1 400 fr. la tonne).

Les exploitations se sont longtemps approfondies par puits verticaux atteignant des profondeurs inusitées partout ailleurs (1 830 m. à la Tamarack, 1 500 m. au Red Jacket Shaft de la Calumet and Hecla)[3]. Aujourd'hui, on continue à s'enfoncer par puits inclinés.

2° COROCORO (Bolivie)[4]

Le haut plateau bolivien comprend, entre les deux Cordillères de l'Est et de l'Ouest, sur 750 km. de long et 40 km. de large, toute une série de gisements cuivreux, depuis longtemps connus et souvent très riches, qui se trouvent dans un très épais système de grès rouges, probablement crétacés, avec intercalations de gypse, de sel, et, vers la base, bancs de porphyrite augitique.

[1] *Tome 2, p. 644.*

[2] Voir la statistique détaillée, t. 2, p. 625.

[3] Voir, sur les profondeurs des mines : L. De Launay. *La Conquête minérale*, p. 184.

[4] 1864. H. Reck. *Das Vork. des Kupfers in der Serania de Corocoro-Chacarilla* (B. u. H. Z., t. 23, p. 93, 113, 121, 129). — 1892. Sundt. *Estud geol. en Corocoro* (Bol. Soc. Nac. min. Santiago, 2e sér., n° 44-46).— 1906. Steinmann. *Die Entst. der Kupfererzl. von Corocoro* (Rosenbusch Festschr. Stuttgart, p. 335-368, avec 2 pl.). — 1911. Rapports divers sur la Corocoro united Copper mines et Rev. S. Afr., 26 fév. 1911, p. 178.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Du Nord au Sud, on signale surtout Pisaca (au Sud du Lac Titicaca), Corocoro, Chacarilla, Turco, Quisacollo, Cobrizos et San Bartolo, beaucoup plus au Sud, dans le désert d'Atacama.

Le plus célèbre de ces gîtes est Corocoro, exploité depuis 1832, où la production a été, en 1910, de 2500 t., en 1911, de 1 800 t. avec un prix de revient de 1 000 fr. la tonne livrée en Europe et où une compagnie française commence à développer les travaux. Ce gisement est relié à la Paz et à Guaqui, sur le lac Titicaca, par voie ferrée. A l'autre extrémité du lac Titicaca, une ligne descend de Puno au port de Mollendo [1].

A *Corocoro*, on est sur un anticlinal rompu de grès de Puca (crétacé) et les minerais ont paru en rapport avec cette dislocation. On les connaît, le long de celle-ci, sur 2 km. de large et 3 km. de long. Ils forment, soit des bancs de 0,5 m. à 2 m. (Vetas) dans les grès grossiers, non argileux, soit de minces délits (Ramos) dans les grès argileux plus fins.

Une des couches, dite Buen Pastor, atteint 12 m. d'épaisseur, mais n'est cuprifère que dans certaines parties grises ou verdâtres, à l'exception des zones rouges stériles.

Les principales mines de Corocoro sont Guallatiri, Santa-Rosa, Remédios et Viscachani. Le rendement actuel des minerais traités est de 2,83 p. 100 et la Corocoro united s'est outillée pour produire promptement 4 000 t. par an.

Le minerai principal, qui rappelle celui du Lac Supérieur, est du cuivre natif en feuilles, plaques, fils, arborescences, etc., comme les dépôts de cuivre galvaniques, accompagné parfois d'un peu d'argent natif; mais on trouve aussi de la malachite, de la cuprite, de l'azurite, qui représentent probablement l'oxydation des minerais sulfurés disparus et, en même temps, de l'arseniure de cuivre. Le gypse accompagne très généralement le cuivre : ce qui peut s'expliquer, soit, dans l'hypothèse sédimentaire, par une concentration lagunaire au moment du dépôt, soit, plutôt, par une réaction des sulfates métalliques sur des calcaires. Certaines grandes plaques de cuivre recourbées, dites charques, en sont enveloppées. Il existe, en outre, un peu de barytine ou de calcite. On a signalé autrefois du cuivre natif sur des ossements ou des plantes; mais on ne l'observe plus aujourd'hui.

A *Cobrizos*, vers 4200 m. d'altitude, on retrouve, en plus petit, des conditions analogues. On a recueilli là, à la mine Galvarino, de belles plaques de cuivre conchoïdales avec dépôt d'argent à la surface.

Les grès cuprifères y sont quelquefois cimentés par de la calcite; mais, quelquefois aussi, ils sont restés à l'état de sable meuble contenant des nodules. En même temps que les minerais ordinaires de cuivre, chrysocolle, malachite, azurite, cuprite, on a ici un peu de cérusite. La mine présente des dégagements importants d'acide carbonique et le gîte cuprifère est recouvert d'un tuf calcaire quaternaire, analogue à celui de certaines sources thermales accompagnées de dégagements pareils. Mais on ne voit pas que ce phénomène hydrothermal puisse avoir de rapport avec la métallisation.

[1] Une ligne en construction doit descendre de Corocoro à Arica.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

X. — GRÈS, SCHISTES ET CALCAIRES CUPRIFÈRES

Comme nous l'avons fait remarquer dans un chapitre préliminaire pour l'ensemble des métaux, on trouve, dans le cas particulier du cuivre, des gisements intercalés au milieu de strates sédimentaires de grès, schistes ou calcaires et prenant, parmi celles-ci, une allure stratiforme. L'origine de ces gisements a été, dans la plupart des cas, très discutée, et souvent elle reste assez problématique pour qu'il semble difficile de fonder leur classification sur de simples hypothèses. Il y a, en outre, avantage pour la discussion à rapprocher les uns des autres les gisements encaissés dans une semblable catégorie de terrains, même lorsque leur origine première paraît certainement différente, afin de voir quelle influence a pu avoir cette origine présumée sur tel ou tel trait de leur constitution. C'est pourquoi nous allons examiner ici, à la fois, en ce qui concerne les grès et les schistes, des gisements, dont les uns sont, pour nous, incontestablement épigénétiques et dont les autres nous semblent syngénétiques. Pour les calcaires, que nous envisagerons ensuite, notre conclusion sera plus uniforme; nous ne croyons pas qu'il se soit fait un seul dépôt de cuivre notable dans une sédimentation calcaire; mais le terrain encaissant calcaire a eu, sur les venues intrusives de cuivre, une influence remarquable que nous tenons à mettre en évidence.

A. — GRÈS, CONGLOMÉRATS ET SCHISTES CUPRIFÈRES

D'après l'observation précédente, c'est pour les schistes, grès et conglomérats que le problème de la formation contemporaine ou postérieure se pose uniquement et paraît devoir recevoir, suivant les cas, des solutions diverses. Les conditions de la sédimentation, comme celles d'une infiltration ultérieure possible, ne sont évidemment pas les mêmes quand il s'agit d'un grès, d'un conglomérat ou d'un schiste. Il aurait donc pu y avoir avantage à examiner isolément l'un et l'autre cas. Nous ne l'avons pas fait pour ne pas rompre l'unité métallogénique que nous allons essayer de faire ressortir, notamment pour la chaîne hercynienne et qui est, à notre avis, le trait le plus saillant à retenir avant tout quand on veut comprendre l'un ou l'autre de ces gisements individuels.

Ajoutons aussitôt que le cas des schistes cuprifères se réduit presque au gisement exceptionnel de Mansfeld, au cas analogue de Riechelsdorf en Hesse et au lignites de Minorque, tandis que tous les autres gisements signalés plus loin sont des grès et des conglomérats. Ces schistes cuivreux sont néanmoins assez développés pour qu'il faille en tenir grand compte dans la théorie et la façon dont il se présentent est, en ce qui les concerne, une forte objection à toute théorie franchement filonienne, épigénétique.

Nous allons donc, puisqu'il s'agit de gisements pour lesquels on peut souvent supposer l'origine sédimentaire, décrire ou rappeler les principaux d'entre eux dans un ordre chronologique qui sera le suivant :

Précambrien. — Conglomérats cuprifères du Lac Supérieur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Permo-trias. — Chaîne hercynienne d'Europe : Minorque, Var, Prusse Rhénane, Hesse, Mansfeld, Thuringerwald, Donetz, Oural, Nouvelle Ecosse, Texas, New Mexico, Arizona.

Eo-crétacé et tertiaire. — Algérie, Corocoro, Boléo.

Les conclusions qui nous paraissent en ressortir et que nous essayerons aussitôt de mettre en évidence, sont les suivantes.

Il paraît y avoir, dans les grès et schistes minéralisés, deux types bien différents. Le premier offre des métallisations localisées en plan horizontal dans un rayon restreint, avec roches éruptives connexes et lignes de dislocations. C'est le cas du Lac Supérieur, de New Jersey, de Corocoro, de Madagascar, du Boléo, etc., pour lesquels la venue semble épigénétique. Ailleurs, au contraire, on a des niveaux à peu près constants sur une grande étendue, pas de roches éruptives et une action réductrice et précipitante manifeste de végétaux, troncs d'arbres, poissons, etc. La théorie sédimentaire devient alors, avec quelques restrictions, très vraisemblable, surtout quand on constate que le même phénomène a, sur l'étendue totale de l'Europe, affecté des terrains, sinon du même âge, du moins de la même période géologique.

Dans les cas où l'on admet l'imprégnation postérieure, il faut supposer, sans doute, des eaux souterraines métallisées se répandant à la façon des nappes artésiennes dans les strates de grès ou de conglomérats que rencontrait leur cheminement souterrain. Ces strates devaient alors nécessairement être encore perméables et avoir échappé à cette silification, à cette agglomération, si rapides d'ordinaire, en sorte que cette cristallisation par après coup paraît avoir dû appartenir en principe à peu près à la même époque que le dépôt des grès métallisés.

Dans les cas où la précipitation sédimentaire semble possible, on peut imaginer des conditions continentales de lagunes saumâtres ou de bassins désertiques, dans lesquels le cuivre, en se précipitant aussitôt, peut-être par l'intervention de microorganismes réducteurs, a pu imprégner de haut en bas un sous-sol de conglomérats ou de grès.

1° LAC SUPÉRIEUR

Les gisements du Lac Supérieur, qui viennent d'être étudiés en détail, sont rappelés ici comme présentant un développement notable de conglomérats cuprifères à ciment de cuivre natif. Il semble bien que cette venue de cuivre y ait été introduite par le dehors et qu'elle ait imprégné les conglomérats, comme elle procédait dans les mélaphyres intercalés au milieu de ces sédiments à la faveur de leur décomposition. Néanmoins, il ne faut pas oublier combien reste obscure l'origine du cuivre que l'on a supposé ici dériver de ces mêmes mélaphyres. Etant donné que le précambrien de ce district présente un ensemble de formations (grès rouges, conglomérats, porphyres quartzifères et mélaphyres), que nous allons voir reproduit trait pour trait dans les formations de la chaîne hercynienne, il était bon de rappeler ce point de comparaison possible.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

2° CHAINE HERCYNIENNE D'EUROPE, MINORQUE, VAR, PRUSSE RHÉNANE, HESSE, MANSFELD, BOHÊME, OURAL, ETC.

Généralités. — La chaîne hercynienne présente, sous la forme de grès ou schistes cuprifères et rarement plombifères, toute une série de minerais intéressants, auxquels j'ai consacré ailleurs un mémoire de détail, ayant pour but de montrer l'unité de ces formations qui s'espacent sur la longueur de la chaîne, avec des caractères analogues, à des époques voisines l'une de l'autre[1]. J'en résumerai ici les traits principaux.

Pour envisager d'abord les choses dans leur ensemble, il convient de définir la zone tectonique que nous allons étudier et de rappeler la succession des phénomènes stratigraphiques qui s'y sont succédé pendant la période permo-triasique, à laquelle appartiennent nos dépôts métallifères.

Le système des plis hercyniens, dont il va être question, est délimité vers le Nord par les avant-pays calédoniens et hercyniens de la Grande-Bretagne, de la Scandinavie, de la Finlande. Au Sud, il englobe toute la zone qui a été ultérieurement replissée par les mouvements alpestres et s'étend à travers l'Afrique jusqu'à une distance indéterminée. Son axe peut se placer suivant les massifs actuels du Plateau Central, des Vosges et de la Bohême.

On remarque aisément, sur une série de cartes paléo-géographiques, comment la mer du dévonien supérieur, qui était arrivée à occuper à peu près toute l'Europe centrale, sauf quelques îlots dont l'existence n'est même pas toujours absolument certaine, s'est retirée de ces régions pendant le dinantien et encore plus pendant le carbonifère supérieur pour faire place à cette saillie montagneuse.

En même temps qu'elle s'élevait, cette chaîne a dû commencer à se détruire à mesure. C'est qu'avec le régime continental se produisent vite les érosions, les accumulations de débris remaniés dans les fonds.

Les deux premières périodes du permien, l'autunien et le saxonien (rothliegende), participent des mêmes caractères. Cependant la phase du rothliegende marque évidemment une étape caractéristique dans l'histoire de la chaîne plissée. L'érosion détruit, à ce moment, sur toute la longueur de la chaîne hercynienne, des masses considérables de filons quartzeux et porphyriques, qui forment, par leurs débris, des accumulations extraordinaires de conglomérats : accumulations sans doute corrélatives d'affaissements progressifs du sol, déjà marqués pendant la fin du carbonifère, comme sembleraient le prouver à cette époque les épaisseurs de 1 000, 2000 m., auxquelles atteignent des sédiments détritiques analogues et également grossiers en tant de points de l'Allemagne, de la Russie, etc.

C'est probablement cette destruction considérable de masses de terrains, de roches et de filons, qui a mis en mouvement les métaux, dont la concentration s'est faite dans les périodes suivantes. Mécaniquement, cette concentration commence peut-être de suite, en certains points favo-

[1] *Les minerais stratiformes de la chaîne hercynienne* (Ann. des M., juin 1911, 100 p. et 2 pl).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rables, dès le rothliegende même, comme il était logique de le prévoir. Chimiquement, il lui faut, pour s'opérer, plus de temps et des conditions plus spéciales; il est nécessaire que les métaux, les éléments dissous de toute nature s'accumulent dans des bas-fonds lagunaires, dans des sortes de mers mortes qui forment l'égout général des chaînes voisines et où les eaux métallisées, chargées de sels, se concentrent ou s'évaporent. L'évaporation de ces lagunes atteint son maximum, présente son facies le plus caractérisé pendant la période dite du zechstein (thuringien), qui nous occupera spécialement tout à l'heure, avant le grand mouvement de retour de la mer, amené par un affaissement du sol, dont ces lagunes, produites par des nappes d'eau peu épaisses, précaires, et bientôt évaporées, avaient pu marquer la première étape.

Alors, avec le régime maritime de mieux en mieux marqué, pendant les périodes successive du trias, les sédiments métallifères se localisent davantage; puis ils disparaissent complètement, à l'exception du fer, quand commence la nouvelle période toute différente, marquée par le début du jurassique. Le fer s'accumule, comme nous l'avons vu [1], pendant l'infra-jurassique et le médio-jurassique. Il n'en est plus question ensuite en Europe jusqu'au tertiaire.

Le résultat des phénomènes, auxquels nous proposons d'appliquer cette interprétation, se traduit aujourd'hui, d'une façon pratique, par un ensemble de faits remarquables, que l'on peut résumer comme il suit :

1° Il existe, à travers toute l'Europe, depuis le Sud de l'Espagne jusqu'à l'Oural, une zone caractéristique de sédiments métallifères, originellement sulfurés [2], d'âge permo-triasique, comprenant, comme métaux essentiels : le fer et le cuivre, un peu de plomb, accessoirement le nickel, le cobalt, le zinc et le manganèse, avec des quantités parfois assez sensibles d'argent et des traces intéressantes d'éléments rares, tels que le vanadium [3]. Ailleurs, dans le monde, le long des plissements contemporains, le phénomène se reproduit identiquement dans la même phase, et dans les mêmes conditions, comme nous le dirons en terminant [4].

2° Ces sulfures métalliques imprègnent, suivant les points, dans des conditions un peu différentes les unes des autres : *a*) de beaucoup le plus souvent des grès et conglomérats; *b*) très rarement des schistes et argiles.

3° Ces minerais sédimentaires, avec produits d'altérations oxydés ou natifs, suivent, en résumé, la longueur de la chaîne hercynienne, où ils apparaissent, selon les points, dans des couches d'âge différent, comme l'indique aussitôt le tableau 49 ci-joint : les changements de régime qui ont entraîné la destruction et la classification des éléments métallifères ne s'étant pas produits partout en même temps, et l'érosion ayant pu, d'ailleurs, suivant les points, rencontrer, dans des phases diverses, des amas métallifères à remanier.

[1] Tome 2, p. 482 à 496.

[2] Si ces minerais se montrent souvent oxydés ou carbonatés dans les exploitations, c'est par altération superficielle. Leur forme profonde est sulfurée.

[3] L'or fait à peu près défaut dans ces gisements, comme il est rare également dans les filons du type et de l'âge hercyniens d'Europe.

[4] Tome 2, p. 788.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Cette diversité d'âge est surtout marquée pour les sédiments à caractère détritique, grès et conglomérats, qu'on paraît trouver depuis la base du permien jusqu'au haut du trias.

Au contraire, la formation spéciale des schistes bitumineux cuprifères paraît plus strictement confinée dans la grande lagune thuringienne, sur le bord septentrional de la chaîne hercynienne.

TABLEAU 49. — MINERAIS CUPRIFÈRES ET PLOMBIFÈRES DU PERMO-TRIAS EN EUROPE.

ÉTAGES	PAYS	NATURE PÉTROGRAPHIQUE du terrain métallifère
Tyrolien (Marnes irisées ou keuper).		
Virglorien (Muschelkalk).	Silésie.	Calcaire (gîte de contact filonien ?)
Werfénien sup. (Sommet du grès bigarré.)	Sarrelouis et Saint-Avold. Cheshire.	Grès cuprifère et plombifère. Grès cuprifère.
Werfénien inf. (Base du grès bigarré.)	Cerisier (Alpes-Maritimes). Cap-Garonne près Toulon. Elirondo en Navarre. Minorque. Molinillo, près Grenade. Sierra de Cuenca (Nlle-Castille).	Grès cuprifère. Conglomérat cuprifère et plombeux. Conglomerat cuprifère. Schistes argileux à lignite cuprifère et nodules de chalcosine. Grès à bois carbonisé métallisé et nodules cuprifères. id.
Thuringien (zechstein).	Hesse, Mansfeld, Wernersdorf en Bohême.	Grès à bois carbonisé, métallisé et nodules cuprifères. Schistes bitumineux métallifères du Mansfeld.
Saxonien (rothliegende).	Bohême, Slavonie, Oural.	Grès et conglomérats cuprifères à végétaux.
Autunien ou Artinskien		

D'après le tableau 49, tout en différant d'âge dans une certaine mesure, ces minerais sont néanmoins localisés dans la partie supérieure du permien et la base du trias. En dehors de la pyrite de fer qui se trouve un peu partout, c'est, en Europe, à peu près la seule zone de toute l'échelle géologique ayant échappé au métamorphisme régional, où l'on trouve de semblables minerais sulfurés avec une allure stratiforme.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

4° Les couches schisteuses du Mansfeld, que nous supposons ainsi métallisées par sédimentation chimique contemporaine de leur dépôt, se distinguent aussitôt des massifs schisteux à imprégnation filonienne postérieure, par la localisation extrême des métaux dans une petite strate très mince, tandis que les substitutions hydrothermales en terrain calcaire, ou les diffusions du métamorphisme régional dans une série schisteuse, par lesquelles nous interprétons d'autres gisements, peuvent être dispensées sur une épaisseur considérable de terrains. Cette différence s'explique aisément par le mode même de formation : la précipitation sédimentaire, d'origine chimique, ayant dû nécessiter pour se produire une très longue concentration préalable des métaux dans le bassin, suivie d'une précipitation très rapide au moment précis où les conditions de réduction ou de saturation ont été réalisées.

5° Il y a une certaine relation, que nous essaierons de faire ressortir, entre le développement des minerais métalliques dans les grès et la présence ou l'absence des mêmes métaux, dans les filons antérieurement cristallisés du massif primaire voisin. Là où ceux-ci contiennent du cuivre, c'est le cuivre qui domine dans les sédiments. Ailleurs, le cuivre manquant, mais le plomb étant abondant, on peut avoir un peu de galène. Enfin, quand le cuivre et le plomb font défaut dans les filons, ils ne se trouvent guère non plus dans les sédiments, dont les éléments clastiques ont été empruntés à la destruction du massif qui les encaisse.

6° Les sédiments cuprifères, qu'ils soient gréseux ou schisteux, présentent une association, on peut le dire constante, des éléments métalliques avec des matières organiques, qui ont évidemment amené leur précipitation par action réductrice : soit que l'on ait affaire à une fine imprégnation hydrocarburée bitumineuse donnant une poussière métallique, comme pour la *speise* du Mansfeld ; soit que des poissons ou des fragments de bois se soient transformés en chalcopyrite, érubescite ou chalcosine, comme ailleurs ils se chargent si aisément de sulfure de fer, soit enfin que l'on ait, comme à Minorque, de véritables combustibles métallisés par du sulfure de cuivre, l'équivalent exagéré des houilles pyriteuses.

7° Au-dessus de ces mêmes sédiments cuprifères et à leur voisinage immédiat, on trouve, dans une foule de cas, au Mansfeld comme dans l'Oural, une série de produits d'évaporation caractéristiques, tels que le gypse, le sel gemme, etc., marquant apparemment le caractère lagunaire et la concentration des bassins où se sont déposés les métaux.

C'est tout cet ensemble de faits que nous allons particulariser et préciser en étudiant la chaîne hercynienne d'Europe sur toute sa longueur, pour y examiner les divers gisements stratiformes à origine contestable : gisements dont, après discussion, les uns nous paraîtront à laisser de côté comme intrusifs, et les autres à faire entrer dans la théorie sédimentaire indiquée plus haut.

ÉTUDE DE DÉTAIL DES DIVERSES PARTIES DE LA CHAINE HERCYNIENNE

Espagne (Molinillo, Sierra de Cuenca, Minorque, Elirondo). — Nous allons suivre la chaîne hercynienne en Europe, du Sud-Ouest au Nord-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Est, sans nous occuper de l'âge précis des gisements étudiés. Une classification par âge, à laquelle on aurait pu songer et que représente le tableau 49, aurait, en effet, le défaut de disperser beaucoup notre description.

Nous commencerons donc cette étude à la pointe Sud de l'Espagne. Plus loin, en Afrique, nous sommes mal renseignés sur la chaîne hercynienne. Il ne serait pourtant pas tout à fait impossible qu'il y eût, dans le Nord-Ouest de l'Afrique, au Maroc et dans le Sud-Ouest du département d'Oran, quelque chose d'analogue aux formations que nous allons bientôt longuement décrire.

Comme nous le verrons un peu plus loin[1], on a pu songer à leur comparer les imprégnations cuprifères très étendues (à ciment de chalcosine ou de malachite) de la région d'*Aïn Sefra*, qui portent surtout sur des grès infra-crétacés, superposés au trias.

Le *Sud-Est de l'Espagne* présente une importante formation de grès permo-triasiques, qui arrivent en stratification discordante sur les divers terrains primaires, y compris le carbonifère[2]. Cette formation gréseuse, que l'on retrouve également aux Baléares, présente, quel que soit son âge précis, un réel intérêt pour les gisements métallifères. Elle longe partout au Sud-Est la Meseta ancienne, sur le bord de laquelle on n'en retrouve que de rares lambeaux, débris possibles d'une formation beaucoup plus étendue détruite par les érosions. A la base, on observe souvent des grès fins micacés rouges ou verts, avec conglomérats anguleux, qui doivent représenter le permien ; puis, en discordance de stratification, des grès violacés, pâles, avec poudingues à cailloux de quartz appartenant au trias, auquels succèdent des marnes irisées gypsifères et des calcaires dolomitiques.

Comme sur toute la longueur de la chaîne hercynienne, ces terrains détriques, formés au pied du plissement carbonifère, renferment, par endroits, des imprégnations métallifères de cuivre et parfois de plomb. Nous allons en citer divers exemples : au Molinillo près de Grenade, dans la Serrania de Cuenca, à Minorque, etc.

Le gisement du *Molinillo, pres Grenade* a été décrit par Raf. Sanchez Lozano[3]. Il est situé à environ 25 km. de Grenade, sur la route de Cadix, dans une région minéralisée, d'autre part, par d'assez nombreux filons de galène, blende, etc.

On a là, sur les schistes cambriens : du côté Sud du rio Fardès, des calcaires plus ou moins magnésiens du trias moyen, avec galène filonienne et calamine ; du côté Nord, des poudingues, schistes et grès bariolés, marnes argileuses et sableuses également triasiques, qui contiennent le cuivre ; dans l'intervalle, un dyke de spilite.

[1] Tome 2, page 789.

[2] La carte géologique d'Espagne rapporte tous ces terrains au trias, et l'existence même du permien a été, en effet, longtemps discutée en Espagne. Il est probable cependant que le permien existe autour de la Meseta comme dans les Pyrénées et dans l'Ouest du Plateau Central où il a été autrefois méconnu. C'est, pour l'Andalousie, l'opinion de Michel Lévy et Bergeron (*Mission d'Andalousie*, p. 225), qui ont rappelé, à ce propos, l'historique de la question ; c'est également la conclusion à laquelle on est arrivé pour les plantes de Bussaco en Portugal. (Cf. Bertrand et Kilian, *ibid.*, p. 394).

[3] 1902. Bol. de la Com. del mapa Geol. de Espana, 2e sér., t. 6, p. 9.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La coupe complète au Nord présente, de bas en haut : d'abord, un poudingue à galets de quartz blanc ; puis des schistes et grès rouges violacés renfermant un filon-couche de barytine cuprifère ; des calcaires magnésiens ; des marnes grises avec gisement interstratifié de galène argentifère et barytine : enfin des grès jaunâtres à fragments de bois carbonisé transformés en chalcosine, avec nodules cuprifères de 5 à 20 mm. de diamètre à centre organisé et, plus haut, veinules de gypse. Les premiers gisements semblent résulter d'une imprégnation hydrothermale filonienne ; le dernier présente des caractères analogues à ceux des sédiments cuprifères précipités dans des lagunes concentrées sur des matières organiques, que nous allons rencontrer, toujours semblables, en tant de régions si diverses. La relation qui a pu exister entre ces deux phénomènes distincts n'apparaît pas clairement. Elle pourrait inspirer quelques doutes sur le caractère sédimentaire de ce bassin cuprifère. Mais elle s'expliquerait aussi par un intervalle de temps restreint entre l'imprégnation filonienne et la destruction.

Plus loin viennent des imprégnations cuprifères dans les grès permotriasiques de la *Sierra de Cuenca* en Nouvelle-Castille (entre Madrid et Valence), étudiées autrefois par Jacquot[1] et comparées par lui à celles de la région de Sarrelouis.

Il existe, environ à 35 km. de Cuenca, dans la région d'Hinarejos, un lambeau de grès rouge, probablement permien, qui recouvre en discordance le dévonien et le houiller. A la base de ce grès rouge, un poudingue à gros éléments renferme, paraît-il, des poches de sidérose ; un peu plus haut, les grès d'Hinarejos et de Boniches présentent un petit horizon cuprifère sous forme de cuivre gris en rognons (ou de carbonate) : le cuivre étant directement relié, par un phénomène que nous retrouverons sans cesse au cours de cette étude, avec une veine charbonneuse. Il est à remarquer que, non loin de là, Jacquot signale, au pic de Ranera, une veine de cuivre gris qui coupe transversalement les conglomérats un peu plus anciens de la base du permien. Comme dans le gisement du Molinillo, ce fait, dont nous rencontrerons encore plus d'un exemple, est susceptible de deux interprétations contraires. Les grès métallifères, supposés permiens, sont recouverts par d'autres grès, puis par des calcaires dolomitiques avec quelques lentilles calaminaires et par des marnes irisées avec gypse et sel.

Le même facies que nous venons de signaler au Molinillo, près de Grenade et dans la Serrania de Cuenca, semble se retrouver dans l'île de *Minorque*, établissant l'existence, dans tout le Sud-Ouest de l'Europe, d'un type métallifère analogue à celui qui prend plus de valeur industrielle dans le permien d'Allemagne et de Russie[2].

[1] 1886. Jacquot. *Esquisse géologique de la Serrania de Cuenca* (Annales des mines 6e série, t. 9, p. 407 et pl. 9).

[2] Pitzbuer. *Renseign. inédits.* — Raf. Sanch. Lozano. *Criaderos sedimentarios de cobre en Menorca y en Granada.* (Boletin de la Comision del mapa geologica, 2e série, t. 6, 12 p. 2). — Cf. D. Jaime Ferrer (Bol. de la Soc. esp. de Hist. Nat., t. 1, n° 9). — 1885. Nolan. *Structure geol. d'ensemble de l'archipel Baléare* (B. S. G. F., 3e sér., 23, p. 76-91 ; et Trav. du Labor. de Grenoble, 3, 1894, p. 29-44). — Coll. Ec. d. M., 2469. — Voir dans notre mémoire sur les minerais de la chaîne hercynienne, une carte de Minorque, pl. 8, fig. 2.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

L'île de Minorque a été coupée en deux parties bien distinctes par les accidents tertiaires (surtout éocènes) : au Sud, des terrasses horizontales miocènes, qui ne nous intéressent pas ici ; au Nord, des terrains dévoniens à plissements Nord-Sud avec intercalation de trois principaux lambeaux permo-triasiques effondrés entre des failles et manteau local de lias transgressif. On a trouvé du cuivre dans deux de ces lambeaux permo-triasiques, surtout dans la partie centrale de l'île, à la Rubia, à 8 km. Sud du port de Fornelles, immédiatement au-dessus du Mercadal, entre ce village et le mont Toro, où ont été faits les derniers travaux des recherches, accessoirement à Santa-Theresa.

Le trias métallifère est composé de grès bariolés, que surmontent des calcaires gris à tubulures rattachés au muschelkalk, par-dessus lesquels arrive le lias. Dans ces grès bigarrés, inclinés environ à 30° sur l'horizon, s'intercalent, en apparence à trois niveaux distincts espacés de 1 m. à 1,90 m., mais peut-être, en réalité, sur un même niveau ramené par des failles, des formations de schistes argileux contenant un mince lit de houille cuivreuse à galets de chalcosine. Ces couches de houille, leur toit, leur mur, leur composition, sont tout à fait identiques entre elles ; en outre, des apparences de plan de glissement que l'on a cru remarquer ont pu faire supposer une sorte d'imbrication par écailles : d'où la vraisemblance qu'il n'existe qu'une seule couche disloquée. Le gisement, malgré de grandes richesses locales, a donc paru trop irrégulier pour être pratiquement exploitable. Mais on n'en a pas moins constaté, sur une centaine de mètres, l'existence d'un lit charbonneux d'environ 2 cm. de large, contenant de véritables galets aplatis de chalcosine, qui arrivent à lui assurer une teneur de 35 à 50 p. 100 de cuivre.

Cette chalcosine[1] n'est peut-être qu'un premier stade d'une altération de chalcopyrite, qui, aux affleurements, donne souvent des malachites. Il est probable qu'il faut voir là le produit de la destruction des filons cuivreux hercyniens, sans doute situés dans une partie de la chaîne disparue lors des effondrements tertiaires et dont un représentant existe encore, dit-on, sous la forme d'un quartz cuivreux dans l'île de Colon.

A cette destruction mécanique n'a pu manquer de s'ajouter — la présence de la houille le montre assez — une dissolution suivie d'une reprécipitation par réduction. Nous sommes vraisemblablement ici en présence d'une exagération de ce phénomène bien connu qui a précipité le cuivre en chalcosine sur tous les troncs carbonisés du permien de la Hesse, de la Westphalie, de la Bohême, de l'Oural, etc. La matière végétale étant ici plus rassemblée, au lieu de simples troncs cuprifères, on aura eu un véritable niveau de houille cuivreuse, qui constitue une curiosité minéralogique[2].

Si nous nous rapprochons maintenant de la chaîne pyrénéenne, nous rencontrons en *Navarre* du trias cuprifère, sur lequel on a fait autrefois quelques travaux près de *Elirondo*. D'après une obligeante communi-

[1] Par endroits, la chalcosine est, paraît-il, antimonieuse.

[2] C'est, comme je l'ai déjà fait remarquer plus haut, l'équivalent, au métal près, des houilles pyriteuses que l'on trouve si fréquemment. Voir plus loin, p. 767, note 2.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

cation de Ramon Adam y Yarza, il s'agissait là d'un conglomérat quartzeux triasique à faible teneur en pyrite de cuivre[1].

France (Cap-Garonne, Alpes-Maritimes, etc.). — C'est, on le sait, sur le littoral méditerranéen qu'il faut chercher le prolongement de la zone permo-triasique, étudiée jusqu'ici en Espagne [2].

Nous allons trouver là, dans les Maures et l'Esterel, puis dans les Alpes-Maritimes, des exemples intéressants de conglomérats cuprifères et plombeux, attribuables probablement à la destruction presque immédiate de filons.

Les mines du *Cap-Garonne,* entre Toulon et Hyères, font partie d'un horizon de passage entre le permien et le trias (rattaché sur la carte de détail au grès bigarré), qui est marqué là par un conglomérat à galets quartzeux, superposé aux grès et schistes rouges du permien, surmonté par les grès bariolés du trias.

Au Cap-Garonne (Colle negre), on a, d'après B. Lotti [3], une couche de conglomérat à peu près horizontale, épaisse de 3 à 8 m., formée surtout de galets quartzeux avec ciment kaolineux et micacé. Le minerai, très irrégulièrement réparti, y occupe, en général, une zone médiane de 0,80 m. à 1,20 m. d'épaisseur, dans laquelle la partie supérieure ne contient que de la galène, l'inférieure que des minerais de cuivre, chalcopyrite rare, chalcosine et peut-être oxyde noir (mélaconite) : la séparation des deux parties étant très nette. A l'Est, le plomb domine; à l'Ouest, le cuivre. Les deux métaux constituent parfois des grains ; parfois aussi on a des cristaux de galène avec barytine dans un ciment siliceux. Enfin il existe, toujours suivant B. Lotti, de véritables fragments de galène et des galets de quartz renfermant de la pyrite ou de la chalcosine. Pour B. Lotti, c'est la preuve qu'on a affaire là à des matériaux résultant de la destruction, presque sur place, de filons analogues à ceux qui existent en divers points de la chaîne des Maures, aux Bormettes, 20 km. plus à l'Est, ou, plus à l'Est encore, vers Saint-Tropez, à Cogolin et, en remontant vers le Nord, entre Cogolin et le Muy à Vaucron, etc. (feuille de Draguignan) : filons probablement hercyniens, mais post-permiens d'après les constatations faites aux Bormettes et se rattachant apparemment au grand mouvement d'éruptions porphyriques permo-triasiques qui caractérise cette période.

Emmons paraît avoir fait remarquer avec juste raison la difficulté qu'il y avait à ce qu'une simple préparation mécanique eût donné ainsi

[1] La question du permien de Catalogne et d'Aragon a été discutée à la Société géologique (16 mars 1903) par Caralp, Carez, etc. Adam y Yarza signale une mine de galène située au contact d'une ophite à Jubera, province de Logrono. L'ophite, qui n'affleurait pas à la superficie, a été recoupée par les travaux.

[2] D'après un renseignement communiqué par A. Lacroix, il existerait, au gîte de Labade, à Viala de Dourdan (Aveyron), dans les schistes et grès du trias, des veinules et nids de chalcosine à gangue calcaire, dont quelques-uns associés à des filets charbonneux comme à Minorque.

[3] Lotti. (Rassegna min., t. 14, n° 16, 1901, p. 281. Z. f. pr. G.) — Emmons. (Z. f. pr. G., 1902, p. 126.) — Feuille de Toulon, par Marcel Bertrand (1886). — Cf. sur Cerisier : L. De Launay. *Gîtes métallifères des Alpes* (Monde moderne, mars 1895) et Feuilles de Saint-Martin-Vésubie et de Nice, par Léon Bertrand.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

une couche inférieure de minerais cuivreux, une supérieure de galène. Il est bien probable qu'en dehors de cette préparation mécanique, un commencement de dissolution et de séparation chimique, analogue à celui que nous trouvons si marqué dans d'autres dépôts, n'a pu manquer d'intervenir, et cette réaction chimique paraît notamment nécessaire pour expliquer l'absence du zinc, qui, on le remarquera, fait toujours à peu près défaut dans ces gisements sédimentaires, tandis qu'il domine, au contraire, dans certains filons du voisinage, tels ici que ceux des Bormettes.

L'altération superficielle a dû également intervenir pour achever la séparation entre les sels de cuivre solubles et les sels de plomb à peu près insolubles[1].

Quelque chose de très analogue à ces gisements du Cap-Garonne se retrouve plus au Nord-Est, dans les *Alpes-Maritimes*.

Il existe là, au-dessus des terrains cristallins et des lambeaux de houille problématique qui y sont intercalés, des terrains permiens et triasiques, renfermant, à la base du trias, des imprégnations cuprifères, sur lesquelles ont été faits quelques essais d'exploitation.

Le permien commence, dans cette région, par des grès et arkoses grossiers et se poursuit par une importante assise de schistes rouges argileux, atteignant jusqu'à 700 m. Au-dessus viennent, sur 40 m. d'épaisseur, des grès schisteux bariolés triasiques, avec poudingue à galets de quartz blanc à la base : grès, dans lesquels se présente le cuivre, et le tout est surmonté par une assise calcaréo-magnésienne, souvent gypseuse.

Les principales recherches de cuivre ont été faites au Nord de Puget-Théniers sur la concession du Cerisier, autour de Saint-Sauveur et, plus au Nord, à côté de Saint-Etienne.

Angleterre (Cheshire, etc.). — Si nous laissons un moment de côté le continent européen pour nous écarter vers le Nord, nous trouvons, dans l'Angleterre centrale et l'Ecosse[2], une zone métallifère permo-triasique, placée un peu latéralement par rapport à la chaîne dont nous étudions ici la métallogénie. La chaîne pennine, le pays de Galles, les îles de Man et d'Anglesea présentent des métallisations filoniennes d'âge hercynien bien caractérisé, qui ont pu contribuer un peu plus tard à enrichir en métaux les sédimentations littorales.

C'est ainsi qu'il existe, dans le *Cheshire*, au Sud de Liverpool, et en divers autres points (Clive, Harmour, etc.), des grès du trias contenant du cuivre et du plomb, avec traces de vanadium[3].

[1] Emmons dit, à ce propos, que, dans les Montagnes Rocheuses, il est fréquent d'observer, dans l'altération de minerais, une semblable séparation du cuivre et du plomb et cite notamment Tintic dans l'Utah, où un groupe de filons renferme : 1° d'un côté, de la chalcopyrite aurifère, de l'autre de la galène argentifère. Ce qu'il en dit semble toutefois impliquer plutôt des conditions de dépôt primitives qu'un processus de métamorphisme.

[2] Dufrenoy. *Traité de minéralogie*, t. 2, p. 497. — 1874. Higgs. *On the copper mines of Alderlay Edge (Cheshire)* (Tr. geol. Soc. of. Cornwall, t. 7, p. 325).

[3] Voir t. I, p. 728.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Le permien anglais commence par des grès et conglomérats bariolés avec énormes blocs argileux et marnes rouges, parfois gypsifères ; il se continue par l'étage dit du calcaire magnésien.

Le trias déborde transgressivement sur lui et s'étend sur le houiller près de Nottingham ; il est presque partout formé de grès et marnes (new red sandstone). Dans le Nord-Ouest, où il atteint 1 500 m. d'épaisseur, il renferme d'énormes blocs roulés. Des conglomérats à blocs également énormes, parmi lesquels très probablement des cailloux striés de moraines glaciaires, se retrouvent sur la côte Sud du Devonshire : ce qui semblerait bien indiquer la démolition d'une chaîne, située, dans le premier cas au Nord-Ouest, dans le second sur la place de la Manche. On signale du cuivre dans le grès bigarré à Clive et à Harmour. Plus haut, dans la série, les lentilles de sel gemme et de gypse sont fréquentes.

Ardenne, Belgique et Prusse rhénane. — Revenant maintenant sur le continent, nous rencontrons, dans l'Ardenne, un important massif primaire, qui est remarquablement pauvre en filons métallifères, à l'exception de quelques rares filons de galène et qui ne présente pas non plus de sédiments cuprifères. On peut mentionner seulement, comme un indice intéressant pour notre sujet, que le seul métal filonien existant dans ce massif, le fer, qui y est assez abondant sous diverses formes et, notamment à l'état de pyrite, a donné une série de produits ferrugineux dans les premiers sédiments jurassiques, crétacés et tertiaires formés au pied de l'Ardenne par le lavage des plateaux émergés.

Au contraire, si l'Ardenne est pauvre en minerais, nous aurons à étudier plus tard une importante région métallifère à son extrémité N.-E. dans la région de Verviers, d'Aix-la-Chapelle, de Stolberg, Düren, Bonn, etc. et quelques filons métallisés ont été également exploités par les Romains dans le Nord de l'Eifel. Il semble bien que le contre-coup en apparaisse aussitôt dans les sédiments métallisés.

Mais, à des filons surtout plombo-zincifères, correspondent ici surtout des grès plombifères, dont l'étude doit être remise à un autre chapitre (Commern, Metchernich, Call, Keldenich, etc.). Un peu de cuivre s'y joint pourtant aussi, avec des indications locales de cobalt, de manganèse et de molybdène. Là, comme à Vallerfangen et à Saint-Avold, où nous décrirons des minerais analogues plus au Sud, ces métaux forment des imprégnations, des concrétions, des nodules, où nous croirons trouver l'indice d'une pénétration métallifère descendante, par conséquent presque immédiate, avec la preuve évidente de remises en mouvement ultérieures.

Pays de Siegen et Kellerwald (Twiste, Frankenberg). — Vers l'Est (fig. 329), quand on aborde le massif ancien du *pays de Siegen*, le type métallogénique devient différent. Ici, nous l'avons vu[1], ce qui domine ce sont les filons de sidérose (souvent transformée en hématite) et de pyrite de fer cuivreuse, la galène et la blende étant rares. Les filons de ce district sont des métallisations anciennes, puisque l'un d'eux a déjà

[1] Tome 2, p. 350.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

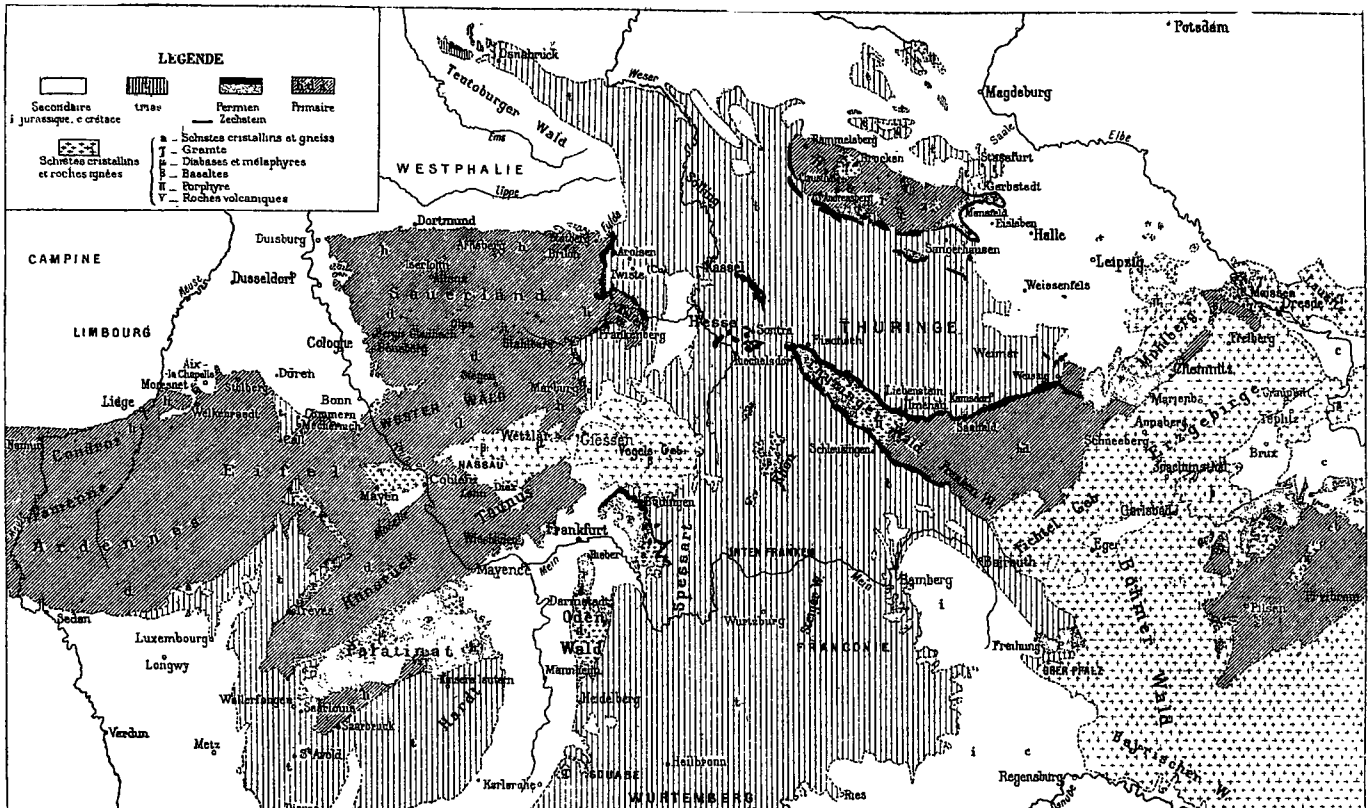


Fig. 329. — Carte des niveaux cuprifères allemands. Echelle au 1/3 700 000e

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ou sa sidérite métamorphisée par un dyke de diabase, dont l'âge est au plus éo-dévonien. Le massif qui les contient a subi une longue altération continentale, commencée dès le dévonien, continuée jusqu'à la transgression cénomanienne : altération dont a dû résulter la remise en mouvement de fortes quantités de fer, de manganèse et de cuivre [1]. Peut-être, en se renouvelant ici jusque dans le tertiaire, a-t-elle été en partie la cause première des concentrations manganésifères qui se sont développées dans les poches superficielles du Nassau [2]. Mais surtout nous serions disposé à lui attribuer le cuivre répandu dans les grès permiens suivant une longue zone qui borne à l'Est ce massif, depuis la Westphalie jusqu'au Spessart, à Stadtberg, Frankenberg, Bieber, etc., de même que le cuivre dont ont été imprégnés à peu près simultanément les terrains du Mansfeld pourrait venir de filons compris dans le massif ancien du Harz.

En partant du Nord, les terrains cuprifères commencent à apparaître à *Stadtberg*, à l'Est de Brilon, où on trouve des imprégnations disséminées, non seulement dans les 10 ou 12 m. du Zechstein, mais aussi dans les grauwackes et schistes sous-jacents, notamment dans un schiste du culm à la mine Oscar. La métallisation paraît là différente de ce que nous trouverons ensuite et peut-être en rapport direct avec des filons [3].

Puis viennent, sur la même bordure Est du massif primaire, les dépôts de Twiste, au Nord du Kellerwald, et de Frankenberg au Sud du même massif.

A *Twiste*, au Sud d'Arolsen (au Nord du Kellerwald) [4], le grès bigarré contient des inclusions cuivreuses, rappelant le niveau plombo-cuprifère du même âge que nous avons signalé à Commern et à Saint-Avold.

Frankenberg (*Hesse*) [5]. — A l'Est du massif dévonien du Sauerland et du pays de Siegen, les terrains carbonifères prennent une direction N.-S. de Brilon à Frankenberg, Marburg et Giessen. Sur ce carbonifère et formant la base d'importants dépôts triasiques, le zechstein apparaît par lambeaux, à l'état de dépôts sans doute littoraux, riches en imprégnations cuprifères, qui préludent, avec quelques différences de détail, à celles du Mansfeld plus à l'Est.

Les anciennes exploitations, continuées de 1594 à 1818, reprises sans succès vers 1856, ont surtout porté sur les environs immédiats de Frankenberg, districts de Hollerfeld, Freudenthal, Zinngrab, Koppelbühl, etc., à l'Est de l'Edder ; mais le niveau métallifère se continue en s'appauvrissant sur environ 10 km. de long, sur la rive droite de l'Edder, vers Geismar, Ellershausen et Louisendorf, c'est-à-dire jusqu'au coude à angle droit du carbonifère, et, sur la rive gauche, on a fait également des essais, soit vers Haine au Sud, soit vers Schreufa au Nord. Quelques

[1] Ce sont des conditions analogues à celles que nous avons signalées pour la chaîne pennine et la Prusse Rhénane et que nous retrouverons pour le Harz.

[2] Voir plus haut, t. 2, p. 568 à 570.

[3] 1879. Holzapfel. *Zechstein am O. Rande des Rhein Westf. Schiefergebirges* (Görlitz). — 1890. *Beschr. des Bergrev. Arnsberg, Brilon und Olpe*, p. 118-120.

[4] D'après Cotta (*Erzlagerst.*, 2, p. 211).

[5] 1867. Wurtenberger. *Ueber die Zechsteinformation, deren Erzführung und den unteren Buntsandstein bei Frankenberg in Kurhessen* (N. J. f. Min., p. 10 à 39). — 1891. Denckmann. *Die Frankenberger Permbildungen* (J. d. K. pr. geol. Landesanst., p. 234).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

minerais de cette dernière région, notamment ceux du Stätteberg, étaient caractérisés par un mélange de galène et chalcopyrite argentifère analogue à celui de Saint-Avold ; ailleurs le cuivre existe à peu près exclusivement.

La coupe des gisements de Frankenberg comprend, d'après un ancien mémoire de Würtenberger, les termes suivants :

8. Calcaire brun rougeâtre.
7. Grès gris ponctué de noir, à grain fin et micacé : 1 mètre.
6. Calcaire micacé et sableux, très fissile, avec restes de plantes et traces de sel gemme ; 3 à 4 mètres.
5. Argile calcaire grise, contenant parfois des restes de plantes et des *minerais de cuivre* : 0,50.
4. Calcaire sableux et brisé, passant à un grès calcaire : 1 mètre.
3. Argile grise calcaire, parfois très riche en plantes à la base : $0^m,50$ à $0^m,60$.
2. *Niveau métallifère* (Kupferletten flötz). Argile grise calcaire un peu micacée et à tendance schisteuse, pleine de restes de plantes avec minerais de cuivre, contenant aussi des boules aplaties de calcaire avec végétaux (sans structure concentrique), parallèles à la schistosité : $0^m,30$ à $0^m,50$.
1. Grès fin calcaire, passant à un calcaire sableux, contenant déjà des restes de plantes et des minerais de cuivre, manganèse et fer : $0^m,30$.

Cet ensemble repose, tantôt directement sur les grauwackes et schistes argileux du carbonifère, tantôt sur le rothliegende. Il est surmonté par une série de bancs calcaires, parfois dolomitiques, puis par une couche de grès fin, dite Letten, qui commence l'étage du grès bigarré, continué par des conglomérats et grès.

Le mélange de quelques bancs calcaires avec les terrains à éléments détritiques, sableux ou argileux, y est à noter.

La couche métallifère est riche en restes de plantes carbonisées, appelées « graupen » par les mineurs (Ulmannia Bronni, Alethopteris Martinsi, Pecopteris etc.), sur lesquels les métaux sont presque exclusivement concentrés[1]. De semblables restes de plantes se retrouvent également dans les couches du mur et du toit et y amènent parfois une réapparition du cuivre.

Le cuivre argentifère, qui a visiblement commencé par être à l'état de minerais sulfurés (pyrite, chalcosine, avec cuivre gris, etc.), s'est transformé en malachite et azurite avec oxyde de fer.

La répartition du cuivre argentifère est très irrégulière, non seulement d'une région à l'autre, mais aussi sur un même point. Dans l'exploitation de 1809 à 1813, on a obtenu, en moyenne, 0,57 p. 100 de cuivre et 0,0011 d'argent.

Quelle que soit l'origine du cuivre, il est visible que sa précipitation a été déterminée par les matières végétales, qui avaient été entièrement flottées et brisées, mais qui ne devaient pas venir de très loin. On a voulu, comme au Mansfeld, attribuer un rôle génétique aux dislocations que peut présenter la couche.

[1] On a trouvé, par exemple, en 1813, un tronc de 0,60 m. de long, 0,40 m. de large, 0,07 m. d'épaisseur, formé de charbon mêlé avec de la chalcosine et pesant 15 kilogrammes. C'est encore l'équivalent de ce que nous avons vu à Minorque, p. 766.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Région de Riechelsdorf et Sontra (Hesse) [1]. — Vers l'Est, entre le massif primaire du Kellerwald et ceux du Harz ou du Thuringerwald, on voit, à *Riechelsdorf* et *Sontra*, dans la Hesse (entre Kassel et Eisenach) le zechstein, qui doit former le fond du bassin triasique, reparaître au milieu de lui comme un îlot.

Plus au Sud-Ouest, quelque chose d'analogue se reproduit dans la région de *Frankfurt* et de *Bieber*, entre l'Odenwald et le Spessart.

Après quoi, viennent, dans l'Est, le système beaucoup plus important du *Mansfeld* et celui assez pauvre du *Thuringerwald*. Nous allons examiner ces quatre districts.

Dans le région de Riechelsdorf, le rothliegende, qui, d'après un sondage, n'a pas moins de 941 m. d'épaisseur, se termine, à sa partie supérieure, par un grès grossier de teinte grisâtre, utilisé dans la construction et un conglomérat rougeâtre. Au-dessus, le zechstein commence, comme nous le verrons bientôt dans le Mansfeld, mais sans interposition de weissliegende, par un schiste cuprifère, autrefois exploité à Riechelsdorf et se continue par des alternances de gypse et de dolomie. Tandis que le rothliegende est pauvre en restes organiques, le niveau cuprifère, épais d'une quinzaine de centimètres, est remarquablement riche en débris de poissons ; on y trouve également, mais en petite quantité, des végétaux. Il est d'une constance et d'une netteté tout à fait remarquable ; mais ce qui le caractérise principalement, c'est sa teneur uniforme en produits hydrocarburés, assez forte pour que les schistes, une fois allumés, continuent à brûler d'eux-mêmes. La répartition des minerais est beaucoup plus irrégulière. Ces minerais, qui constituent une très fine imprégnation, se localisent souvent sur les poissons ; ils se composent de chalcopyrite, chalcosine, pyrite de fer, plus accessoirement, nickeline et galène. La teneur en cuivre ne dépasse jamais 3 p. 100.

Les failles ou rücken, qui traversent la couche, sont d'un grand intérêt théorique. Ces failles sont souvent minéralisées ; mais on a cru remarquer que c'était au détriment de la minéralisation de la couche cuprifère ; ainsi de Hohensüss au Bauhaus, les Rücken sont métallisés, la couche pauvre, et l'inverse a lieu de là jusqu'à Iba.

Ces rücken traversent aussi le rothliegende, mais ne contiennent de métaux que dans le Zechstein et la couche grise du mur, contrairement à une théorie que nous discuterons tout à l'heure à l'occasion du Mansfeld et d'après laquelle l'apport des minerais se serait fait par eux. Dans les couches plus profondes du rothliegende, ces métaux n'existent plus. On y trouve cependant encore en grandes masses (parfois sur 2 et 3 m. de large) la barytine, qui forme aussi la gangue ordinaire des parties métallisées et qui y est généralement teintée en gris par un peu de bitume. Les minerais sont de la smaltine, de la chloanthite et de la nickeline, c'est-à-dire des minerais de cobalt et de nickel, et il est d'autant plus curieux de remarquer une relation entre ces filons cobaltifères et les couches cuivreuses. Ils sont répartis par nids très irrégulièrement, mais ont pu être exploités autrefois [2].

[1] Voir notice de la feuille de Sontra par Beyrich et Moesta (1876).

[2] Voir plus haut, tome 2, p. 600.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il est difficile d'apprécier, d'après les descriptions, s'il s'agit bien d'un phénomène originel, comme le croit R. Beck, ou s'il n'y aurait pas une action de remise en mouvement, comme le ferait penser la localisation dans la couche cuprifère et l'appauvrissement de celle-ci quand les failles s'amincissent, comme paraît également l'indiquer la répétition du même phénomène au Mansfeld et au Thuringerwald : répétition qui serait bien singulière si on n'avait affaire qu'à un phénomène accidentel.

Région de Frankfurt. — Sur le versant S.-E. du Taunus, autour de Frankfurt, dans la Hesse, on trouve des imprégnations cuivreuses dans deux niveaux différents : d'une part, à Bieber, dans le Zechstein[1] ; de l'autre, à Büdingen, dans le grès bigarré, comme dans les régions de Commern, Saint-Avold, etc.[2].

Le terrain permien, à Bieber, commence par une couche de schistes marneux et bitumineux, épaisse de 0,30 m. à 1,50 m., reposant directement sur le micaschiste et renfermant du cuivre avec du plomb, du nickel, du cobalt ; mais les métaux y ont un caractère filonien et se prolongent dans le micaschiste sous-jacent.

Mansfeld[3]. — Tandis que les gisements précédents sont, en général, sans importance pratique, ce qui implique un faible développement des minerais cuprifères ou plombifères, le Mansfeld donne lieu, au contraire, à une ancienne et importante industrie, que l'on estime avoir produit depuis l'origine environ 500 000 t. de cuivre, dont 400 000 depuis 1879 et qui fournit actuellement encore environ 16 à 20 000 t. de cuivre et 60 t. d'argent par an.

Stratigraphie. Répartition géographique. — La carte ci-jointe (fig. 330), que nous avons dressée d'après les cartes de détail au 25 000e, montre la disposition du bassin cuprifère, qui s'adosse au flanc S.-E. du Harz (représenté sur notre figure par sa bordure carbonifère). On y voit les terrains permiens dessiner une sorte d'U marqué par deux axes anticlinaux de Rothliegende. La base de cet U est à Mansfeld. Les deux

[1] 1808, Schmidt. *Schistes cuivreux de Bieber en Hesse* [Neues Jahr. f. Miner., p. 45). — 1892. Bücking. *Der N. W. Spessart* (Berlin, p. 133).

[2] 1866, Simon (Berg. u. Hüttenm. Z., p. 412).

[3] Voir carte géologique détaillée de la Prusse au 1/25 000e, feuilles de Leimbach, Eisleben, Mansfeld, Schraplau, Riestedt, Wippra, Sangerhausen, etc., avec notices annexes (1882-1884). Voir également le profil N.-S. au 1/25 000e mené depuis le Harz par Kyffhaüsen à l'Ouest du Mansfeld (par Fr. Moesta). — 1807-1815. Freiesleben. *Geogn. Beitr. z. Kenntn. des Kupferschiefergebirges* et *Geognostische Arbeiten*, Freiberg. — 1827. V. Veltheim. *Ueber d. Vork. der metal. Fossilien in der alten Kalkformation im Mansfeldischen und im Saalkreis* (Karsten's Arch., t. 15, p. 98). — 1837. Baumler. *Nickelerze im Mansfelder Kupferschiefer* (Z. d. D. geol. G., p. 25). — 1864. Peltzer et Greiner. *Expl. du schiste cuivreux argentifère au Mansfeld* (Cuyper, t. 15, p. 424). — 1869. Schrader. *Der Mansfelder Kupferschieferbergbau* (Z. f. d. B. H. u. S. im Pr., t. 17, p. 251). — 1879. Dieulafait. (Rev. Sc. et C. R. t. 89). — 1893. Beyschlag. *Geol. Karte der Mansfelder Mulde.* — 1900. *Die Geschichte des Mansfeldschen Kupfer Schieferbergbaues. Festschrift* (Eisleben) — 1909. Beck. *Lehre von den Erlagerstätten*, 3e éd., t. 2, p. 152 avec bibl. — Coll. Ec. d. M., 1959.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

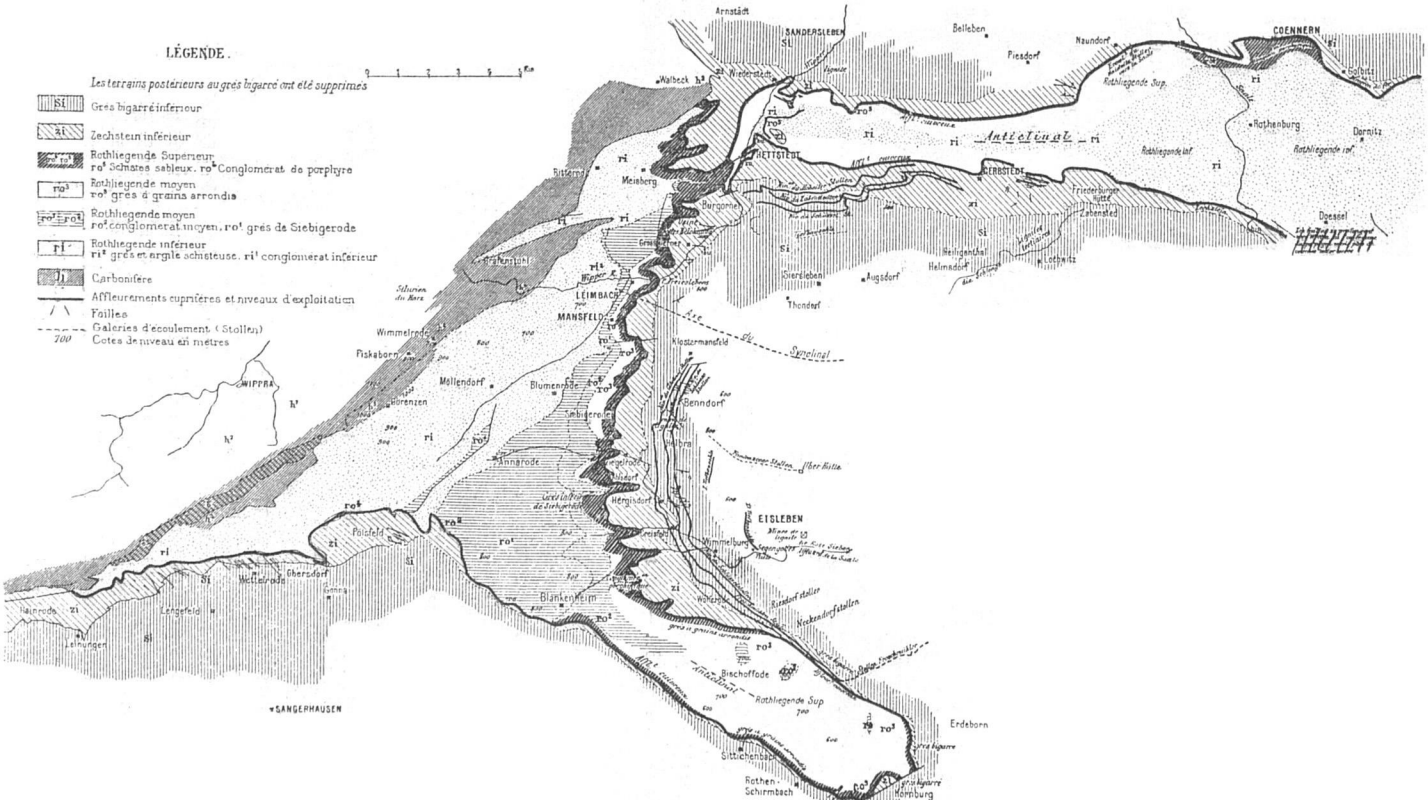
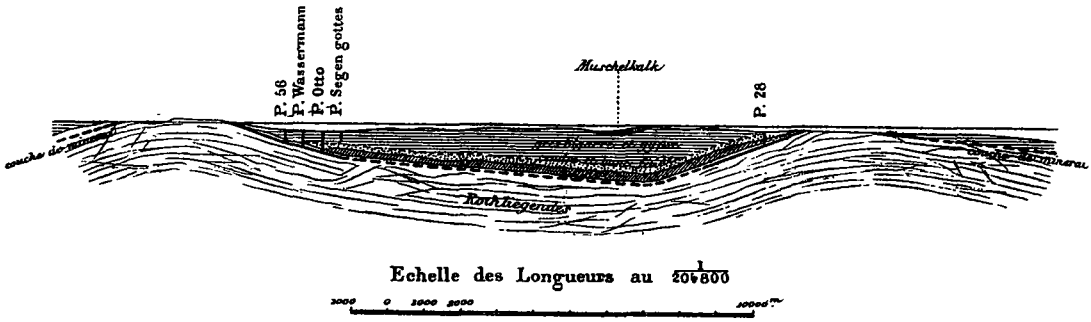


Fig. 330. — Carte géologique de la région cuprifère du Mansfeld.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

branches se dirigent à l'Est : l'une vers Gerbstedt et la Saale, l'autre vers Hornburg. La principale partie exploitée est la cuvette synclinale de Zechstein comprise entre elles, dont la largeur moyenne est d'environ 18 km. (fig. 331). Sur le flanc Ouest se trouvent Mansfeld et Eisleben ; au Nord, Hettstedt et Gerbstedt ; à l'Est, Wettin. L'exploitation s'est, jusqu'ici, maintenue entre Wolferode près Eisleben et Gersbstedt ou Friedeburg sur la Saale : soit 23 km. d'affleurements cuprifères utilisés. Mais, géologiquement, comme le montre notre figure, la longueur totale des affleurements cuprifères connus est bien plus considérable et représente au moins 100 km. Les plongements sont assez faibles : 5 à 6° à l'Ouest ; 7 à 20° au Nord ; ce qui a permis de peu s'approfondir (300 m. environ) malgré l'ancienneté des exploitations.

En ne gardant de la description de cette région que ces termes essen-



L'échelle des hauteurs triple de celle des longueurs

Fig. 331. — Coupe transversale du bassin du Mansfeld.

tiels, on voit qu'il existe, au Sud-Est du Harz et reposant en stratification discordante sur ses dernières couches carbonifères, un terrain permien, qui accuse, d'une façon très nette, la prédominance : d'abord des formations lacustres ou même fluviatiles (rothliegende), puis des formations lagunaires ou littorales (Zechstein), auxquelles ont succédé, à l'époque triasique, des formations marines plus étendues, en partie encore littorales (fig. 332).

Pendant toute la longue période du *rothliegende*, les sédiments, qui se sont accumulés là sur des épaisseurs d'au moins 1000 m. (jusqu'à 2 000 m. en Bavière), sont uniquement des dépôts détritiques grossiers, formés presque sur place par la destruction des fortes saillies hercyniennes, qui venaient de surgir dans la phase précédente et des coulées ou filons porphyriques qui s'y étaient manifestés. A différentes reprises, des conglomérats à gros galets s'y intercalent, et les plus anciens d'entre eux contiennent même des accumulations de débris de schistes, qui prouvent une sédimentation presque sur place, de même que certains conglomérats locaux à galets de quartzites de cette formation inférieure ont pu être considérés comme d'origine fluviatile. L'ensemble suppose l'enfoncement progressif d'une zone géosynclinale rappelant, dans des proportions moindres, les 6 km. de sédiments semblables accumulés pendant le

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

précambrien au lac Supérieur. Tout cet étage du rothliegende est caractérisé extérieurement par ces vives colorations rouges ou violettes, dues à la peroxydation du fer, qui prouvent peut-être seulement l'action atmosphérique à laquelle ces couches se seraient trouvées soumises, en raison de leur émersion continentale, dans des conditions désertiques, avant d'être recouvertes par les dépôts suivants.

A sa partie supérieure et immédiatement au mur des schistes cuprifères, le *weissliegende*, épais de 1 à 2 m., est un grès à ciment calcaire d'un aspect presque marneux et de couleur grisâtre ou blanchâtre. Il ren-

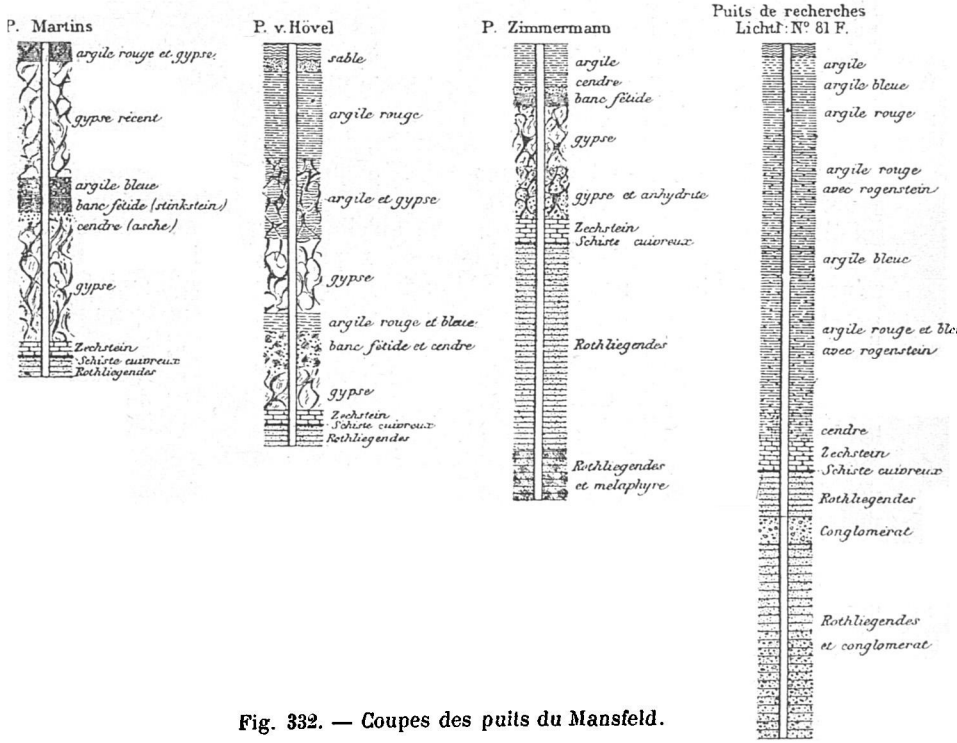


Fig. 332. — Coupes des puits du Mansfeld.

ferme fréquemment des galets de quartz, mais il est surtout caractérisé par des imprégnations métalliques, qui ont pu y pénétrer par en haut pendant le dépôt des schistes métallisés. On y trouve des galets imprégnés après coup de minerais dans leurs fissures.

Sauf cette exception très localisée, il peut d'abord paraître singulier que, dans cette formation détritique, les minerais de cuivre n'apparaissent pas déjà, même à l'état de fragments[1], ainsi qu'ils le font ailleurs dans la

[1] Je n'ai pas besoin de remarquer que cette stérilité ordinaire des grès du Mansfeld est encore plus extraordinaire dans la théorie soutenue par Poszepny sur l'imprégnation postérieure : le schiste bitumineux, qui s'est trouvé métallisé, paraissant, au premier abord, aussi peu propice que possible à une infiltration filonienne des eaux métallifères, dont la précipitation s'expliquerait, il est vrai, par la présence des hydrocarbures.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Hesse, la Prusse rhénane, le Var, etc., si l'on admet, comme nous l'avons proposé jusqu'ici dans des cas analogues, qu'ils résultent de filons détruits, antérieurs au rothliegende même. Mais nous avons fait remarquer que, dans notre idée, la précipitation du cuivre ou du plomb n'était pas réellement contemporaine des grès et conglomérats où on la rencontre, que les métaux ont dû y être introduits postérieurement par en haut dans les phases où la concentration arrivait à se faire au milieu d'eaux tranquilles. Peut-être ici, ce dépôt chimique ayant accompagné la formation d'un schiste imperméable, ces métaux n'ont-ils pu que peu pénétrer au-dessous. On peut, d'ailleurs, imaginer bien d'autres explications, telles qu'un changement dans le sens des courants.

La formation du zechstein marin, qui succède au rothliegende, et dont la base constitue le minerai cuivreux, est toute différente. Elle se compose de schistes bitumineux, de calcaires marneux et de gypses, qui accusent une sédimentation beaucoup plus tranquille, soustraite à l'influence des courants violents caractéristiques de l'époque précédente. On y voit apparaître, en même temps, trois termes, qui ont évidemment une relation commune, de quelque nature qu'elle puisse être, car on les trouve partout ensemble et dans tous les pays, quand il existe des minerais semblables : 1° produits bitumineux liés sans doute aux débris organiques ; 2° sulfate de chaux (anhydrite et gypse) ; 3° sulfures métalliques.

1° Les matières organiques étaient rares dans le rothliegende, manifestées seulement par quelques troncs silicifiés. Au contraire, on trouve, dans le niveau cuivreux, beaucoup de plantes et de poissons avec quelques mollusques marins (lingules, brachiopodes), accusant des conditions de dépôt littorales dans un estuaire vaseux. Quoique la localisation des métaux sur les substances charbonneuses ne soit peut-être pas aussi nette que dans la Hesse, le rôle précipitant des hydrocarbures paraît incontestable. Seulement ceux-ci sont plus disséminés ; les métaux sont, de leur côté, plus finement et plus régulièrement répartis sous cette forme d'une fine poussière, dite *speise,* qui constitue le minerai riche et réellement exploitable du Mansfeld.

On n'a pas toujours des métaux quand on a des hydrocarbures, car l'imprégnation bitumineuse se prolonge dans les dépôts supérieurs, rendant fétides la plupart des schistes, calcaires et gypses du Zechstein moyen ou supérieur (c'est, on le sait, un caractère qui se retrouve dans le Plateau Central) [1] ; mais l'inverse paraît constant, à savoir la coexistence d'hydrocarbures avec les métaux. Ces hydrocarbures prennent quelquefois une allure singulière, emmagasinés dans certaines tubulures, dites *Racheln,* sans continuité au-dessus, où on les rencontre avec du gypse et des dissolutions salines.

2° L'apparition de l'anhydrite a lieu également presque dès le début du zechstein. Il est vrai que, dans les niveaux de schistes inférieurs, par exemple dans la Kammschale, où des filets gypseux affectent la forme de cheveux blancs, on pourrait invoquer un emprunt aux terrains supé-

[1] Voir tome 1, pages 460 à 463.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rieurs par remise en mouvement secondaire[1]. Mais, en tous cas, les dépôts importants de sulfate de chaux se sont effectués presque aussitôt après les schistes bitumineux et prouvent le haut degré de saturation des eaux lagunaires à ce moment. Il est visible que ce sel a commencé par se déposer, comme d'habitude, à l'état d'anhydrite. Ultérieurement, l'anhydrite s'est hydratée en gypse et souvent ensuite ce gypse s'est dissous, laissant, soit un simple résidu sableux ou terreux dit la *cendre*, soit ce résidu mêlé avec des débris éboulés des terrains superposés et cimenté par de la dolomie (*rauchwacke*[2]); c'est-à-dire que ces terrains supérieurs ont été soumis à une série de mouvements importants dus à des causes purement locales, qui les ont entièrement bouleversés et qui paraissent être une des raisons principales des fractures observées dans le zechstein. En même temps, l'évaporation a été poussée par endroits jusqu'au dépôt du sel gemme. Dans le voisinage des massifs gypseux, on a toujours rencontré de vastes fissures remplies d'eau salée qui ont pu même constituer une gêne pour l'exploitation.

3° J'arrive enfin aux minerais qui sont l'élément le plus intéressant. La coupe de la zone métallisée est, de haut en bas, la suivante :

Zechstein inférieur. — Calcaire compact par bancs de $0^m,10$ à $0^m,30$.
Fäule. — Calcaire marneux bleu foncé très fissuré : $0^m,75$ à 1 mètre.
Dachklotz. — Banc de calcaire marneux renfermant quelques rognons de galène et rarement des inclusions cuprifères, ditess peize : $0^m,15$ à $0^m,30$.

Assise des schistes cuivreux environ $0^m,50$.

Oberberge, Noberge, Lochberge	$0^m,30$
Kammschale, Kopfschale, Schieferkopf	$0^m,10$
Lochschale, Lochen, Liegende Schale	$0^m,006$

Sanderze. — Assise minéralisée de Sangerhausen.

Les minerais s'y trouvent presque exclusivement dans une zone de 10 cm., où leur teneur moyenne était, en 1905 comme en 1880, de 2,86 p. 100 de cuivre et 161 gr. d'argent par t. Il est remarquable qu'industriellement cette teneur moyenne de 2 à 3 p. 100 de cuivre, avec cette proportion d'argent particulièrement élevée[3], puisse se maintenir depuis un siècle. Ces minerais, bien qu'ils se présentent souvent au voisinage des affleurements sous une forme oxydée, sont, il est à peine besoin de le répéter, originairement des sulfures. On observe principalement des sulfures de cuivre argentifères : chalcopyrite dominante, érubescite, cuivre gris et chalcosine (ces trois derniers minéraux n'étant que le produit de cémentation de la chalco-pyrite); mais, en outre, on a assez fréquemment

[1] D'après Poszepny (*loc. cit.*, p. 166), l'examen microscopique des minerais de Mansfeld y montre ordinairement un peu de gypse accompagnant le minerai.

[2] *Notice de la feuille de Gerbstedt*, par E. Kayser, 1884, p. 6. Cette formation de cendre, ou rauchwacke, est naturellement d'épaisseur très irrégulière, depuis 1 m. jusqu'à 20 m. On peut la comparer au *briscale* des solfares de Sicile, t. 1, p. 334 et 335.

[3] Voir le tableau 45, t. 2, p. 639.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de la galène et de la pyrite, plus rarement de la blende, des arséniures de nickel et de cobalt, des combinaisons de manganèse, molybdène et sélénium. Suivant les points, l'un ou l'autre des métaux peut devenir plus abondant, et nous verrons tout à l'heure que, le long de certaines fractures, on a eu des enrichissements en cobalt tout à fait particuliers. La teneur connexe en hydrocarbures varie de 10 à 17 p. 100.

Cette métallisation cuivreuse, est distribuée dans la couche d'une façon qui passe pour assez constante industriellement et qui est néanmoins, lorsqu'on examine les choses de près, extrêmement irrégulière. Un appauvrissement général et très marqué se produit, de plus, quand on s'éloigne vers l'Est ou le Sud-Est : par conséquent, quand on s'écarte du massif ancien du Harz, qui, dans toute hypothèse, paraît avoir été l'origine de l'imprégnation métallique.

D'autre part, les schistes sont beaucoup plus pauvres dans la partie contournant l'anticlinal de Hornburg ; la teneur descend alors à 1,5 de cuivre avec la même proportion d'argent.

Les caractères généraux de l'imprégnation sont les suivants. En principe, dans les minerais riches, le sulfure métallique est très finement disséminé, comme pulvérisé, presque invisible sauf lorsqu'on fait miroiter la cassure au soleil, ce qui lui donne un aspect chatoyant. C'est ce qu'on appelle la *speise* (nourriture), dont la teinte varie du jaune orange au bleu violacé (chalcopyrite et érubescite), au gris d'acier (chalcosine), au jaune clair (pyrite), au gris bleu (galène) suivant les points.

En dehors de cette disposition, les minerais forment également de très fines interstratifications, semblant des traits à l'encre d'or tracés au tire-ligne sur la cassure noire du schiste, puis des enduits sur les cassures, ou encore, des grains ou noyaux, généralement de peu de valeur pratique s'ils ne sont pas accompagnés de speise, mais néanmoins intéressants à signaler pour la théorie.

Cette métallisation ne porte pas partout exactement sur les mêmes couches, ce qui coïncide avec la difficulté que l'on éprouve tout naturellement à identifier les petits lits schisteux d'un bout à l'autre de cet immense bassin.

Ainsi, dans le district d'Hettstedt-Gerbstedt au N.-E., on n'a guère de minerai que dans les 7 ou 10 cm. de la base (Lochen, Lochschale, Schieferkopf). A Eisleben, au centre, la métallisation, en même temps qu'elle s'enrichit, monte un peu plus haut, parfois jusqu'à la Kammschale (8 à 12 cm.). A Sangerhausen (au Sud-Ouest), on revient à peu près aux conditions d'Hettstedt.

Parfois, cependant et surtout, paraît-il, dans les zones anticlinales, la métallisation s'élève davantage, jusque dans les Dachklotz et Fäule, mais alors seulement à l'état de noyaux, résultat possible d'une remise en mouvement, presque jamais à l'état de speise [1].

Au mur, au contraire, on voit se développer, dans le district de Sangerhausen, des minerais dits sableux (Sanderze), qui ont fini par y former l'objet principal de l'exploitation. Ces sanderze contiennent parfois de 5 à 10

[1] Poszepny (*loc. cit.*, p. 166) attache une importance théorique à la présence accidentelle de petits grains de chalcosine dans le calcaire du toit. Il faudrait, avant tout, s'assurer si, là où le fait se présente, il n'y a pas eu remise en mouvement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

p. 100 de cuivre, mais sont trop peu argentifères. Il s'agit alors de petits grains de chalcopyrite tellement pressés qu'on aperçoit à peine les grains de sable qu'ils englobent (tresse jaune). Parfois aussi ces sanderze contiennent de la chalcosine, de l'érubescite, ou même de la galène et de la blende. Ce petit niveau de 1 à 2 cm. se trouve, quand il existe, aussitôt au-dessus du weissliegende. Tout à fait exceptionnel dans les autres districts, il semble relié aux dislocations ou plissements. On n'a pas aperçu de relation entre sa richesse plus ou moins grande et l'enrichissement ou l'appauvrissement du schiste bitumineux au dessus.

Théorie. Rôles des failles. — Quand on essaye d'interpréter une semblable formation, un fait surprend tout d'abord : c'est son énorme extension apparente, évaluée par les auteurs allemands, pour la seule partie exploitable, à 500 km² (15 à 20 km. de large, sur 20 à 30 de long). C'est encore plus la longueur des affleurements cuprifères qui atteint 100 km. ; car rien, je crois, ne prouve, jusqu'ici, la continuation de la zone métallifère à de grandes distances de l'affleurement, si ce n'est pourtant cette remarque logique que la superficie actuelle, ayant coupé la strate géologique plissée à peu près au hasard, n'a aucune raison pour être spécialement riche.

Il est bien difficile de concevoir une couche mince de schiste, dans laquelle, sur 500 km², les eaux cuprifères auraient pénétré postérieurement par en bas et cela par une foule de cassures assez heureusement distribuées pour que la métallisation finale ait été, dans tout l'ensemble, à peu près uniforme.

Bien qu'on ait essayé, souvent avec un grand talent, comme nous allons le rappeler, de soutenir l'idée d'une imprégnation postérieure à caractère filonien, cette dissémination des métaux, leur appauvrissement quand on s'éloigne du Harz et enfin le caractère ordinairement schisteux des terrains imprégnés nous semblent malaisément compatibles avec cette hypothèse épigénétique, beaucoup plus admissible quand il s'agit d'un dépôt restreint de grès, sables ou conglomérats.

Les arguments opposés par l'école adverse sont de très inégale valeur. Ainsi Beyschlag s'est attaché à démontrer que, lorsqu'on parcourt l'étendue des dépôts cuprifères depuis le Rhin jusqu'à la Silésie, ni leur âge exact, ni leur nature pétrographique, ni leur richesse ne restent constants. Cette observation, nous venons de la faire nous-même en étudiant l'ensemble de la formation cuprifère dans l'Europe occidentale ; elle est toute naturelle dans l'hypothèse de précipitations sédimentaires, réalisées évidemment à des moments divers et dans des conditions variables le long de la chaîne hercynienne récemment soulevée que revenaient éroder les eaux. Si on en concluait l'imprégnation postérieure épigénétique, il faudrait étendre la même conséquence aux couches de charbon qui, elles aussi, changent d'étages, d'épaisseur et de nature, non seulement d'un bassin à l'autre, mais dans l'étendue d'un même bassin.

Un point important à discuter est le rôle attribué par divers observateurs aux failles et rücken : notamment par E. Weiss dans la notice de la feuille de Mansfeld, puis par Poszepny, R. Beck. etc.[1].

[1] Il s'agit ici des fractures réellement profondes, à ne pas confondre avec les failles superficielles, dues à la dissolution du gypse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

La couche de schistes cuivreux a subi de nombreux rejets par des failles ou rücken (représentées sur la fig. 330), dont quelques-unes sont restées stériles et dont d'autres comme, à Riechelsdorf, à Bieber en Hesse, etc..., sont de véritables filons de nickel et de cobalt avec gangues de barytine et de calcite. Ces filons minéralisés (dits rücken) sont généralement très irréguliers et occasionnent de forts brouillages. En deux points, à Gersbstedt et à Sangerhausen, on a pu exploiter la smaltine : avec de la pyrite, de la marcassite et de l'érubescite dans le premier cas ; du mispickel, de la chalcosine et de la chalcopyrite dans le second. Au voisinage, la couche cuivreuse est parfois imprégnée de cobalt et de nickel.

Les observations relatives au rôle de ces failles dans les métallisations sont, quand on les envisage dans leur ensemble, peu concluantes. Suivant E. Weiss, l'effet des plis (rücken) serait généralement : dans le district d'Eisleben, un enrichissement tendant à se porter surtout vers le toit ; dans le district d'Hettstedt, un appauvrissement. Cette contradiction, qui a été généralement passée sous silence pour mettre l'enrichissement seul en lumière, est de nature à inspirer quelque suspicion. Les plis eux-mêmes, d'après le même auteur, sont, tantôt stériles, tantôt spécialement riches en minerais de cuivre et de nickel.

Suivant Beyschlag (promoteur de la théorie épigénétique, adoptée également par R. Beck), les failles, qui sont fréquemment métallisées, le sont uniquement dans la partie comprise entre les deux tronçons de la couche cuivreuse rejetée, ou très faiblement au-dessus et au-dessous : ce qui prouve, à notre avis, soit une remise en mouvement avec emprunt à la couche, soit une pénétration hydrothermale sinueuse, mais ce qui s'accorde difficilement, quoique ce soit l'hypothèse admise par l'auteur, avec une montée filonienne par cette faille. En même temps, d'après lui, la teneur des couches s'accroît au voisinage des failles. Un employé du Mansfeld s'est attaché à calculer, d'après les livres d'essais, la teneur des divers chantiers exploités pendant dix ans ; il a constaté, paraît-il, que même en défalquant les failles elles-mêmes, les zones faillées correspondent à un accroissement de la métallisation. Nous avons déjà vu que, dans le district d'Hettstedt, la teneur diminue au contraire, et, là où elle augmente, les effets de cémentation provoqués par une circulation plus facile des eaux dans la faille peuvent suffire à expliquer cet enrichissement.

On peut remarquer, à ce propos, que, d'après les observations faites à Bieber en Hesse[2], certains de ces filons-failles auraient pénétré, en gardant leur métallisation, jusqu'a 60 m. de profondeur dans le micaschiste situé au-dessous ; après quoi, ils se seraient réduits à un simple plan de joint métallisé ; ce qui semble bien correspondre à une métallisation par voie descendante. Enfin il est assez curieux que les filons-failles renferment souvent en abondance spéciale des minerais tels que le cobalt et le nickel, rares dans la couche elle-même (Gerbstedt, Sangerhausen). On a pu, à ce propos, se demander s'il n'y aurait pas eu ouverture postérieure de véritables filons indépendants de la couche qu'ils traversent. Mais

[1] Voir plus haut, t. 2, p. 773.

[2] Notice de la feuille de Sontra par Beyrich et Fr. Moesta (1876).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

il serait bien surprenant, dans cette hypothèse, qu'on n'eût jamais trouvé ces filons se prolongeant un peu loin en profondeur.

La thèse de Beyschlag, R. Beck, etc., est cependant que des eaux métallisantes profondes et filoniennes seraient montées par ces failles en ne les métallisant (contrairement à ce qui se produit dans les filons ordinaires) que là où elles ont rencontré sur leur passage un lit chargé de matières organiques réductrices susceptibles de les précipiter. La présence du gypse, qui a servi de base à la théorie sédimentaire de Dieulafait, serait alors attribuable uniquement à la relation ordinaire, dans le permien, des dépôts bitumineux et gypseux.

En résumé, il y a sans doute, dans les rapports des Rücken avec la couche métallisée, dans la présence locale de métallisations au toit des schistes, etc., un certain nombre de problèmes mal résolus. Mais ce serait également une chose très singulière que ces filons, par lesquels serait monté ce cuivre sans s'y déposer[1], contrairement à ce qui se passe dans tous les filons ordinaires de cuivre, et que ces failles, ordinairement nourricières de la couche, au voisinage desquelles, dans tout un district, on signale un appauvrissement.

Thuringerwald. — Les minerais permiens se retrouvent en divers points sur les deux bords du Thuringerwald (fig 329), mais généralement sans grande valeur, sauf peut-être à Ilmenau, à Liebenstein, dans une partie extrêmement resserrée de la couche, et à Kamsdorf, près Saalfeld, sur la Saale, également en dressant.

A Ilmenau, le schiste cuprifère repose sur un conglomérat, dont la partie haute, sableuse et bitumineuse (avec lingules) contient déjà une imprégnation cuivreuse et plombeuse comme les Sanderze. Le schiste lui-même, épais de 0,50 m., est riche en nodules de calcaires bitumineux renfermant beaucoup de poissons et de plantes. On ne l'a trouvé exploitable qu'entre deux grands flexures [2].

Au Rotherberg près Kamsdorf et à Schweina-Liebenstein, on a trouvé des minerais de nickel et de cobalt dans des failles. Les anciens travaux de Kamsdorf ont pourtant porté sur des failles cuprifères [3].

A Schleusingen, sur le bord Sud du Thurigerwald, c'est encore le zechstein qui est cuprifère.

Vers l'Est, en Saxe, le zechstein inférieur cesse d'affleurer, le zechstein supérieur transgresse et les schistes cuivreux disparaissent. Il faut aller au Nord du Riesengebirge, en Silésie, à Goldberg et Jauer, pour retrouver un schiste cuivreux du même âge, dont il sera dit bientôt quelques mots.

Il ne faut pas oublier qu'on voyait autrefois, dans les griffons du Laurion Attique, des cheminées éruptives par où s'étaient élevés les métaux, alors que, dans ce cas au moins, il n'est pas douteux qu'on ait affaire à une remise en mouvement superficielle de métaux antérieurement déposés. On ne saurait assez attacher d'importance à ces déplacements qui ont motivé tant de conclusions inexactes sur l'origine première des gisements où ils se sont présentés.

[2] Après une ancienne exploitation remontant au XIIIe siècle, il y a eu, sur l'initiative de Goethe, une tentative de reprise en 1784-1798. — Voir 1908. LORETZ, SCHEIBE et ZIMMERMANN. *Erläut. zu Blatt Ilmenau*, avec bibl.

[3] Voir plus haut tome 2, page 599.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Bohême . — Au voisinage du massif métallisé de la Lausitz[2] et du Riesengebirge, les minerais permiens à allure sédimentaire reparaissent, comme au voisinage du massif métallisé du Harz ou de celui d'Aix-la-Chapelle. L'observation peut être interprétée de différentes manières, mais elle devait être faite.

Le permien occupe surtout, en Bohême, une longue zone approximativement Est-Ouest, coupée en deux tronçons par les recouvrements crétacés : l'un, à l'Ouest, du côté de Rakonitz; l'autre à l'Est, à cheval sur la frontière silésienne, allant de Turnau vers Glatz et Waldenberg, en traversant la haute vallée de l'Elbe. C'est cette dernière qui est cuprifère. Elle constitue un bassin sédimentaire lacustre adossé au gneiss du Riesengebirge, ou recouvrant transgressivement le carbonifère, avec flanc Nord très redressé, flanc Sud adouci. De nombreuses failles la distinguent et il s'y intercale des mélaphyres et des porphyres, auxquels on a attribué une relation avec les minerais de cuivre. Cette traînée, large en moyenne de 20 km., comprend, de l'Ouest à l'Est : Wernersdorf près de Radowenz, Liebstädel, Kozinetz et Strabacov près de Starkenbach, Hohenelbe (sur l'Elbe) et Eipel.

On y a reconnu, en divers points, des imprégnations cuprifères, étudiées notamment par Polack, Hering, et, en dernier lieu, par G. Gürich, qui admet l'imprégnation contemporaine comme Hering, tandis que Polak et Rosicky ont défendu l'épigénie.

Les gisements de cette région se trouvent, en réalité, à plusieurs niveaux assez sensiblement différents ; mais nous avons déjà dit que ce n'était pas pour nous une preuve suffisante de l'imprégnation postérieure.

Dans l'exploitation la plus orientale, à Wernersdorf près de Radowenz, le rothliegende comprend trois termes principaux :

Rothliegende
- 3. Conglomérat supérieur rouge, gréseux à la base.
- 2. Schistes rougeâtres ou verdâtres avec couche de porphyre intercalée localement, bancs calcaires et hornsteins.
- 1. *Niveau cuivreux supérieur.* Banc à galets plus gros qu'une noix, atteignant 6 mètres de puissance. *Niveau cuivreux inférieur.* Conglomérat inférieur.

Les minerais se trouvent là dans deux lits d'argile schisteuse, au toit et au mur d'un banc à gros galets qui termine à son toit le conglomérat inférieur et qui, lui, n'est pas imprégné. Les exploitations anciennes, vers 1864, n'avaient trouvé aux affleurements que des minerais oxydés. Suivant

[1] 1851. Porth. *Das Kupfererz Vork. im Rothl. d. N.-E. Bohmens* (J. K. K. geol. R., t. 8, p. 435; t. 9, p. 45). — 1858. Otto Polak. *Geol. Bericht über die in Böhmen unternommenen Schürfungen* (Jahrb. d. k. k. geol. Reishs, Wien., p. 239 à 246). — 1888. Hering. *Die Kupfererzlagerstätte der Dyas im nordöstl. Böhmen* (Oest. Z. f. B. u. H., p. 676 et 685). — 1893. Gurich. *Die Kupfererzlagerstätten von Wernersdorf* (Z. f. pr. G., p. 370). — 1906. Rosicky (Bull. int. de l'Ac. d. Sc. de Bohême, 19 oct. avec bibl.). — Voir également Poszepny, *loc. cit.*, p. 167, sur les schistes bitumineux d'Hermannseifen.

[2] Voir, sur la Lausitz, tome 2, page 595.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

une règle qui paraît générale, les travaux plus récents et plus profonds ont rencontré des minerais sulfurés. Ces sulfures se présentent dans le niveau supérieur : soit en noyaux facilement dégagés de la gangue formés, au centre, de chalcosine, à la périphérie, de pyrite faiblement cuivreuse et pouvant contenir jusqu'à 14 p. 100 de cuivre ; soit en filets, gros au maximum comme le doigt, pénétrant dans la roche encaissante ; soit enfin en fines imprégnations dans le conglomérat du dessous. On a trouvé, en ce point, des troncs de calamite pénétrés de chalcosine ou renfermant de véritables veines cuivreuses. Le niveau inférieur est beaucoup plus pauvre. Le cuivre est un peu argentifère et contient de faibles traces d'or. Il n'est pas question d'autres métaux.

Au Nord de Wernersdorf, les schistes marneux de *Hasel*, près de Goldberg, à minerais de cuivre oxydés, se trouvent plus haut dans la série, à peu près au niveau des schistes du Mansfeld dans le Zechstein.

Ailleurs, à *Liebstädtel*, les minerais sont dans les conditions du niveau inférieur de Wernersdorf, au milieu de conglomérats puissants.

Polak a décrit, de ce côté, des gîtes de charbon accompagnés de calcaires bitumineux entre Liebstädtel, Kostialow, Cziwaska et Ksakow. Là, au mur de charbon, se trouve, entre des conglomérats, un schiste argileux gris verdâtre avec restes de plantes, anthracite et minerais de cuivre. Voici deux exemples, mis en pendant, de coupes locales :

Conglomérat à grosseur d'une noix. Argile sableuse.	Conglomérat.
Argile sableuse micacée sans cuivre. Même argile verdâtre avec calamites et *cuivre*.	Schiste argileux avec charbon et cuivre gris. *Conglomérat cuprifère.* *Schiste argileux cuprifère.*
Conglomérat. Grès verdâtre plus argileux. Grès conglomérat.	Conglomérat du mur.

Une autre mine de cuivre, décrite par Grimm[1], à *Kosinets* et *Strabacov*, un peu au Nord de Starkenbach, comprend un grès arkosique cuprifère à grain fin plus ou moins schisteux, d'environ 1,20 m. Il y a là des anthracites pénétrés de cuivre.

Dans un autre gisement, à *Hohenelbe*, les minerais sont dans des schistes marneux contre le Brandschieferflötz.

Le minerai se trouve à *Oberkalna*, près Hohenelbe, dans une couche de 0,75 m. de schistes plus ou moins marneux, intercalé dans un schiste bitumineux riche en alun, dit Brandschiefer, que les gens du pays brûlent en tas pour utiliser sa potasse comme engrais.

Silésie. — Au Nord-Est de la région précédente, une coupure du Riesengebirge est marquée par une traînée houillère qui passe à Waldenburg. Sur le flanc Nord, on retrouve des terrains permiens avec des masses de porphyre et de mélaphyre. Là, du côté de *Liegnitz*, entre *Goldberg* et *Jauer*, il repose, sur le rothliegende, un peu de zechstein et de grès bigarré.

[1] 1857 (B. u. H. J. d. Montan Lehranst. zu Leoben, t. 7, p 79).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En même temps, reparaît un minerai de schiste cuivreux, qui a donné lieu à quelques exploitations.

On signale également, à *Hasel* et à *Conradwaldau*, en Basse-Silésie, cinq couches de schistes cuprifères à 1,50 p. 100 de cuivre, intercalées dans le calcaire dolomitique du Zechstein[1].

Puis il faut franchir un nouveau saut au Nord du grand bassin carbonifère silésien et l'on arrive à la si curieuse et si problématique formation du muschelkalk de Beuthen et Tarnowitz, où, malgré les apparences, l'idée d'une introduction épigénétique me paraît la plus vraisemblable, et dont la description sera faite ultérieurement quand nous nous occuperons du zinc et du plomb.

Slavonie. — Beaucoup plus au Sud-Est, en se rapprochant de la Bosnie, une formation comparable à celle du Mansfeld existe, paraît-il, à Swinitza (anciens confins militaires, ou Slavonie)[2]. On a là, dans un étage analogue au niveau cuivreux du rothliegende de Bohême, des schistes et des grès bitumineux, avec concentration du métal autour de plantes carbonisées.

Donetz. — Sauf ce cas isolé de la Slavonie, après la Silésie, nous traversons une longue interruption apparente de la chaîne hercynienne avant d'arriver à l'Oural. Cependant il existe, dans le permien du Donetz, vers la base, des grès cuprifères qui ont été exploités à une époque préhistorique et qui suffisent pour établir la continuité remarquable du phénomène.

Oural[3]. — Après quoi, nous retrouvons la grande chaîne hercynienne de l'Oural avec une direction Nord-Sud anormale, qui reproduit celle des plis précambriens, entre lesquels elle est insérée et que j'ai essayé ailleurs d'expliquer[4].

Le versant Ouest de l'Oural, dans la région de Perm, sur les gouvernements de Perm, Oufa, Orenbourg, présente un type classique, bien que sans réelle importance industrielle, de sédiments cuprifères permiens, associés à des matières organiques. Ce type a été particulièrement étudié dans la région de Karkaralinsk, à 40 km. d'Orenbourg et au Nord de Perm.

On sait que la chaîne de l'Oural montre une série de zones N.-S. de

[1] 1881. V. FESTENBERG-PARKISCH. *Met. Bergbau Niederschlesiens*, Wien. p. 77.

[2] 1858. PORTH. (Verh. k. k. Geol. Reichsan. in Wien, t. 19, p. 46.)

[3] Voir, outre les bibliographies citées dans mes *Gîtes métallif.*, t. 2, p. 327 et dans l'*Asie*, p. 540 : — 1893. Carte géologique de la Russie d'Europe au 1/2.600.000, par Karpinsky, Nikitin, Tchernychev, etc. — 1863. NEUBERT. *Die Kupfererzlager der Kargaralink Steppe* (B. u. H. Z., p. 141 et 169). — 1881. RECH. *Das Kupfererz und Salzvorkommen in der perm. Form. Süd Russlands* (Z. f. B. u. S. im. pr., t. 29, p. 276). — 1886. NIKITIN. *Rech. géol. le long du chemin de fer de Samara* (Bull. Com. geol., Petersb., t. 5 et t. 6). — 1887. TCHERNYCHEV. *Une excurs. dans les gouv. Oufa et Viatka* (*ibid.*, t. 6 et 7). — 1887. SCHMALHAUSEN. *Plantes permiennes de l'Est de la Russie* (Mém. du Com. géol., t. 2. n° 4, en russe, avec résumé allemand). — 1889 et 1891. KRASNOPOLKY. *Explication de la carte géologique Perm-Solikasmk au 1/420.000*; *Etudes sur l'Ouest de l'Oural* (Mém. du Com. géol., t. 11, n° 1 et 2, en russe, avec résumés allemand et français).

[4] *L'Asie*, p. 221 à 224 et 540. (Voir la carte géolog. de l'Oural, fig. 192 au t. 2, p. 325 et la fig. 375 au t. 3.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

roches cristallines et de terrains primaires plissés allant jusqu'au carbonifère, sur lesquels viennent reposer directement : du côté Est, des terrains éocènes; à l'Ouest, au contraire, sur de vastes étendues, des terrains permo-carbonifères artinskiens (autuniens), puis permiens et triasiques (figure 192).

A la fin du carbonifère et pendant le début du permien, tandis que la plus grande partie du continent européen était émergée, le Nord et l'Ouest de la Russie restaient recouverts par la mer (sauf peut-être quelques chaînes d'îles dans l'Oural), de telle sorte que les dépôts pélagiques de l'artinskien (autunien) ont succédé progressivement à ceux du carbonifère à fusulines ; mais l'époque qui correspond à l'artinskien fut marquée par un commencement de soulèvement de l'Oural, accentué pendant le rothliegende (autunien), rapide au centre, plus lent au Sud (d'après Karpinski).

Alors se déposèrent, le long d'une chaîne montagneuse qui paraît avoir été continue, et en stratification discordante sur les couches primaires, une série de terrains, dont la coupe est la suivante, de haut en bas :

Saxonien (Rothliegende)	Terrains rouges très pauvres en fossiles. Argiles et marnes avec intercalation de calcaires et grès.
	Grès cuprifères avec plantes.
Artinskien (Autunien)	Ensemble de marnes fissiles, grès et conglomérats.
	Calcaires gypsifères, équivalents des parties supérieures de l'artinskien.
	Artinskien discordant sur le calcaire à fusulines.

En même temps, la mer ouverte du carbonifère devait se rétrécir peu à peu, ou même disparaître pour faire place à une lagune fermée en évaporation.

Le niveau des grès cuprifères, qui nous intéresse spécialement, est formé de grès marneux gris rougeâtres avec fines intercalations de marnes grises à la base. Ces grès sont en relation intime avec le niveau de terrains rouges qui les recouvre et auquel ils passent peu à peu. Autant que par la présence des minerais, ils sont caractérisés par l'abondance des végétaux. C'est quand les végétaux deviennent fréquents que la teneur en cuivre augmente. Quelques poissons y apparaissent aussi, mais sont rares. L'ensemble des caractères paléontologiques, jusque dans les couches supérieures du grès rouge, appartient nettement au permien, point au trias, et l'on peut même douter si le permien supérieur est représenté.

Les minerais de cuivre sont, aux affleurements, des oxydes ou des carbonates ; suivant la règle habituelle, ils passent à la chalcosine en profondeur. On les trouve localisés sur des troncs, présentant, d'après une coupe de C. R. Förster, des tiges centrales de chalcosine enveloppées de limonite cuprifère, cuprite ferrifère et malachite. Leur zone d'extension est considérable et, notamment, de Perm à Solikamsk, sur une longueur d'environ 200 km., la carte géologique russe signale de tous côtés du cuivre. Mais l'épaisseur des grès ou conglomérats imprégnés est faible : en moyenne 0,1 m. à 0,6 m., rarement, 1,5 m. à 2 m., avec une teneur de 2 à 3 p. 100, et les imprégnations ont peu de continuité horizontalement. Un

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

caractère très remarquable, et qui correspond bien à ce que nous avons déjà rencontré pour le Mansfeld, est l'accentuation progressive de la teneur à mesure qu'on se rapproche de l'Oural, où est, par suite, évidemment l'origine de la métallisation. Celle-ci commence à 500 km. de l'arête orographique actuelle et se développe peu à peu, mais sans jamais devenir riche. Les exploitations, commencées en 1860, sont aujourd'hui totalement abandonnées. On n'y signale pas la présence du plomb; mais on a reconnu la présence du vanadium : métal qui, nous l'avons vu[1], a été constaté à diverses reprises dans des sédiments formés aux dépens de terrains primaires : dans le Mansfeld, le Cheshire, à Mazenay, etc...

Il est bien vraisemblable que ces gisements résultent de la destruction de filons de chalcopyrite hercyniens, dont les indices sont, en effet, abondants dans la zone de l'Oural, située immédiatement à l'Ouest (il est vrai sur l'autre versant) entre Nijni-Taguilsk et Bogoslovk.

3° GRÈS CUPRIFÈRES PERMO-TRIASIQUES EN DEHORS DE L'EUROPE

New-Annan (Nouvelle-Ecosse). — Les autres continents nous offrent, avec la chaîne hercynienne d'Europe, des points de comparaison intéressants pour ces métallisations de grès cuprifères. Ainsi, dans l'Amérique du Nord, le tracé que l'on peut faire aujourd'hui de la plateforme primitive et de sa ceinture hercynienne ou calédonienne, montre celle-ci partant, suivant la côte atlantique de Terre-Neuve, et de la Nouvelle-Ecosse pour suivre les Alleghanys, atteindre les Etats du Sud, où elle se recourbe vers une direction Est-Ouest dans l'Arkansas et le Texas et repartir avec une direction Nord-Sud dans le New Mexico, le Colorado, etc. Sur ce tracé, on a une série de grès cuprifères permotriasiques, dans la Nouvelle-Ecosse, le New-Jersey, le Texas, le New-Mexico et l'Arizona.

Le permien de New-Annan sur la French River en Nouvelle-Ecosse contient des niveaux cuprifères, dans lesquels une partie du cuivre a gardé sa forme sulfurée, chalcopyrite ou chalcosine.

New-Jersey. — Nous avons déjà signalé les diabases amygdaloïdes à cuivre natif de New-Jersey. Ces diabases et mélaphyres traversent une formation de grès triasiques, dans lesquels se sont développés des minerais de cuivre, souvent avec barytine, tantôt dans des fentes réticulées remplies d'érubescite, tantôt en concrétions arrondies, dont le noyau est formé de cuivre natif recouvert d'une couche de cuprite et, au-dessus, d'une couche de chrysocolle mamelonnée. Ces gisements ont donc quelque rapport, à l'âge près, avec les gisements du Lac Supérieur, dont nous avons déjà eu l'occasion de les rapprocher et semblent correspondre à une venue épigénétique relativement localisée [2].

Texas (Red River)[3]. — Les districts de Red-River et de Brazos River au

Tome 1, p. 726 à 729.

Le même fait se retrouve dans l'Est de l'*Utah*. — Voir : 1908. BENNET. *Copper in Sandstone in Eastern Utah* (Min. u. Sc. Press., 5 mars).

[3] 1897. SCHMITZ. *Copper ores in the permian of Texas* (Tr. Am. I. M. i Eng., t. 26 p. 97-108).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Texas contiennent d'assez nombreux bancs cuprifères, intercalés dans les couches peu inclinées du permien au milieu de marnes et de schistes. Ici, comme dans le permien d'Europe, on a, le plus souvent, des concentrations sur des troncs d'arbres, pouvant atteindre 20 à 60 p. 100 de cuivre, ailleurs une poussière fine avec quelques concentrations noduleuses, dont la teneur moyenne ne dépasse guère 3 à 4 p. 100. Les minerais, toujours altérés, sont des silicates et des oxydes.

Monts Nacimiento (New Mexico[1]). — Dans les monts Nacimiento, au N.-W. du Nouveau Mexique, on retrouve du cuivre dans un système de grès et conglomérats triasiques, avec marnes et argiles, qui forme des couches très redressées, recouvertes par du crétacé transgressif. Ici encore, le cuivre est intimement lié à des restes végétaux, plantes, feuilles, tiges, etc. On l'observe sur toute la hauteur du dépôt gréseux qui a de 20 à 30 m., mais surtout concentré dans de petits liens interstratifiés. Les minerais sont de l'érubescite, de la chalcosine et de la mélaconite.

Copper Basin (Arizona)[2]. — Dans le bassin du cuivre, district de Yavapai, on trouve du cuivre dans des conglomérats, grès et brèches d'âge indéterminé qui reposent sur un granite à gros grains, traversé de microgranite. Ce cuivre s'y présente sous la forme d'un ciment, de croûtes ou de concrétions d'azurite et de malachite. Mais ici le granite sous-jacent renferme lui-même de nombreuses veines et imprégnations cuprifères, qui, en profondeur, passent à la chalcopyrite. On en a conclu que le cuivre était venu d'en bas imprégner à la fois granite et grès. Cette explication est admissible. Il serait également plausible d'admettre que le cuivre des grès a été emprunté à des filons préexistants, remaniés presque sur place dans la formation des conglomérats.

4° GRÈS CUPRIFÉRES CRÉTACÉS ET TERTIAIRES

Algérie (Aïn Sefra)[3]. — Le Sud-Oranais présente un cas de grès cuprifères d'âge probablement infracrétacé.

Dans la région d'*Aïn-Sefra* (extrémité de la ligne Sud-Oranaise, à 454 km. du port d'Arzeu et environ 100 km. au Nord des oasis de Figuig), il y a, dans des grès blancs de l'aptien et dans des argiles du même étage, une légère imprégnation cuivreuse (carbonatée aux affleurements), ayant quelque apparence d'être contemporaine avec le sédiment encaissant.

Les terrains plissés sont formés d'infracrétacé avec axes anticlinaux de trias. Les minerais de surface sont des malachites et azurites avec un peu

[1] 1880. Cazin. *New Mexico and Lake Superior as a Copper Producer* (Eng. a Min. J., p. 87).

[2] 1889. W. P. Blake. *The Copper deposits of Copper Basin, Arizona, and their origin* (Tr. Am. I. M. E., t. 17, p. 479-485). — Voir, à ce propos : 1888. Edgeworth David. *Cupriferous shales in permian rocks* (Tr. geol. Soc. Australasia. Melbourne). — 1886. Becher. *On some cupriferous shales in the Province of Hou-pen, China* (J. of the geol. Soc. of London, t. 23, p. 494).

[3] Voir L. De Launay. *Rich. min. de l'Afrique*. p. 141 et 314. — Cf. 1852. Ville. *Mines de cuivre de l'Ouest de la province d'Oran* (B. S. G. F., 2e, t. 9, p. 379). — 1892. Dorion. Rapport industriel. — 1910. Dussert. *Gis. métal. de l'Algérie* (Ann. d. M., p. 40 à 43).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de cuprite, passant plus bas à de la chalcosine, qui elle-même s'appauvrit en profondeur.

Cette imprégnation a été constatée autour d'Aïn-Sefra et, notamment, sur les flancs Ouest et Est du Djebel Aïssa (10 à 20 km. N.-E. d'Aïn-Sefra), vers l'Oued Mouila, à Tirkount et vers Tiourtelt.

La teneur en cuivre, répartie dans plusieurs petites couches de 0,15 à 0,20 m. d'épaisseur, ne dépasse pas 2 p. 100 et la difficulté de traiter les minerais les rend pratiquement inutilisables.

Dorion y voyait le produit de la destruction et de la sédimentation de divers filons, situés au N.-E., par exemple dans le *Melabed*, près de Redjem-en-Nous, à environ 40 km. N.-E. d'Aïn-Sefra : filons N.-E. en relation avec des ophites, où l'on a fait des recherches abandonnées

Sinaï. — Il est très probable qu'il faut attribuer un caractère filonien aux gisements cuprifères du Sinaï qui ont été très activement exploités par les anciens égyptiens, tant pour le cuivre lui-même que pour les turquoises. Ce sont des veines cuivreuses et manganésifères dans le grès nubien, dont l'âge est, par suite, au moins du crétacé ou du tertiaire [1].

Senze do Itombe (Angola) [2]. — Le cénomanien de la province portugaise d'Angola contient des conglomérats cuprifères, intercalés entre deux bancs de grès fossilifères.

Ce cénomanien, formé de grès et de calcaires, est adossé, avec une pente de 12 degrés, contre des schistes cristallins. Le cuivre (malachite, azurite, chrysocolle, volborthite) y est accompagné d'un peu de galène et de barytine.

Bolêo (Basse Californie) [3]. — Le gîte cuprifère tertiaire du Boléo est situé sur la côte Est de la basse Californie, sur le golfe de Californie, en face le port de Guaymas (rive mexicaine), où aboutit le chemin de fer de la Sonora communiquant avec les lignes des États-Unis.

La région du Boléo forme un vaste plateau presque horizontal, légèrement incliné vers la mer, découpé par sept grands ravins ou cañons et surmonté par quelques rares pitons isolés de trachyte. Elle est géologiquement constituée d'un certain nombre d'assises à peu près régulières, quoique d'épaisseur variable et ultérieurement faillées, formées par des sédiments mécaniques ou chimiques, avec intercalations de couches cuivreuses et manganésées. A l'Ouest, ces couches s'appuient sur une double chaîne discontinue, parallèle à la côte, de trachytes peu acides voisins des dacites, et l'ensemble de la formation est recouvert par une

[1] Voir plus haut, tome 1, page 717.

[2] 1855. *Gîte de cuivre dans la colonie portugaise d'Angola* (Ann. d. M., 5e, t. 10, p. 615). — 1902. Voit. *Die Kupfererzvork. bei Senze do Itombe* (Z. f. pr. G., p. 353-357).

[3] Coll. Ecole des Mines, 1960. — 1882. Fuchs. *Note sur les gisements de cuivre du Boleo* (Ass. fr. pour l'av. des Sc., t. 14, p. 410. Grenoble). — 1885. De la Bouglise et Cumenge. *Etude sur le district cuprifère du Boleo.* — 1885. Ed. Fuchs. *Sur le gisement de cuivre du Boleo* (B. S. G. F., 3e série, t. 13, p. 545). — 1898. Lacroix. *Sur quelques minéraux du Boleo* (Bull. Museum, 2 p.). — 1899. Krusch. *Kupfererzlagerst. in Nieder-Kalifornien* (Z. f. pr. G., p. 86). — 1900. Cie du Boléo. Notice sur la période de 1889 à 1900.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

puissante coulée de lave basaltique à péridot. A l'Est, elles plongent vers la mer; mais des failles successives diminuent leur pente moyenne. Au Nord, se trouve un granite tertiaire dont aucun fragment ne se montre dans les conglomérats.

La coupe, ramenée à ses termes essentiels, est, du haut en bas la suivante (fig. 333).

Conglomérats à ciment calcaire, avec fossiles miocènes littoraux, grès calcaires, tufs coquilliers	100 à 180 mètres
Première couche cuivreuse, gypseuse et manganésée, dite n° 0.	0 à 1m,50
Tufs sablonneux, légèrement rosés, bruns et gris lilas . .	0 à 30 —
Deuxième couche cuivreuse, gypseuse et manganésée, dite n° 1.	0 à 4 —
Conglomérat et tuf, avec intercalation de lits manganésés.	25 à 30 —
Troisième couche cuivreuse, gypseuse et manganésée, dite n° 2.	0 à 2m,50 —
Conglomérats, tufs et grès, avec lits manganésés	50 à 100 —
Quatrième couche cuivreuse, gypseuse et manganésée, dite n° 3	0m,25 à 3 —
Conglomérats et tufs divers chargés de cuivre à la base.	75 à 100 —
Cinquième couche cuivreuse et gypseuse dite, n° 4	2 à 30 —
Conglomérats.	

En résumé, l'on trouve cinq couches cuivreuses, dont la quatrième est la principale et la seule exploitée, succédant chacune à un banc de conglomérats, avec galets de rhyolites, andésites, basaltes, etc. Au-dessus de la quatrième couche se trouve un grès rouge, d'aspect souvent porphyrique, dit *cinta-colorada*, qui sert de repère dans la série.

On peut admettre qu'il y a eu là un bassin de sédimentation, d'abord lacustre, puis littoral, dont le rivage s'est progressivement affaissé et a fini par permettre l'introduction des eaux marines, amenant en même temps une légère discordance entre les couches successives, de moins en moins inclinées à mesure que l'on s'élève. Les phases principales de cet affaissement semblent avoir provoqué chaque fois une recrudescence d'érosions, déterminant la formation d'un banc de conglomérats. Puis, dans les intervalles entre les dépôts de conglomérats, il y a eu sédimentation tranquille de matériaux éruptifs, caractérisée par les tufs, tantôt argileux, tantôt gréseux et compacts avec paillettes de mica. Et, dans cette série de tufs, se sont intercalés des dépôts sulfurés de concentration chimique, probablement empruntés eux-mêmes à la destruction des roches éruptives, ou à celle des minerais que celles-ci pouvaient contenir (s'il n'y a pas eu imprégnation ultérieure peu probable).

La couche n° 3 a été, depuis l'origine des travaux en 1885, la couche vraiment industrielle du Boléo. C'est elle qui a fourni la presque totalité des minerais et les tracages qui l'ont reconnue atteignaient déjà, en 1900, un développement de plus de 150 km. de long. Les exploitations en couche n° 2 sont des plus restreintes, et presque nulles dans les autres couches, encore plus minces et irrégulières et en grande partie érodées. La puissance moyenne de cette couche n° 3 est de 1 m.; mais elle a atteint 4 et 5 m. dans certains chantiers (Carmen et Amelia), tandis qu'ailleurs elle peut descendre jusqu'à 0.

Le cuivre se présente dans la couche n° 3 sous forme de minerais ayant

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

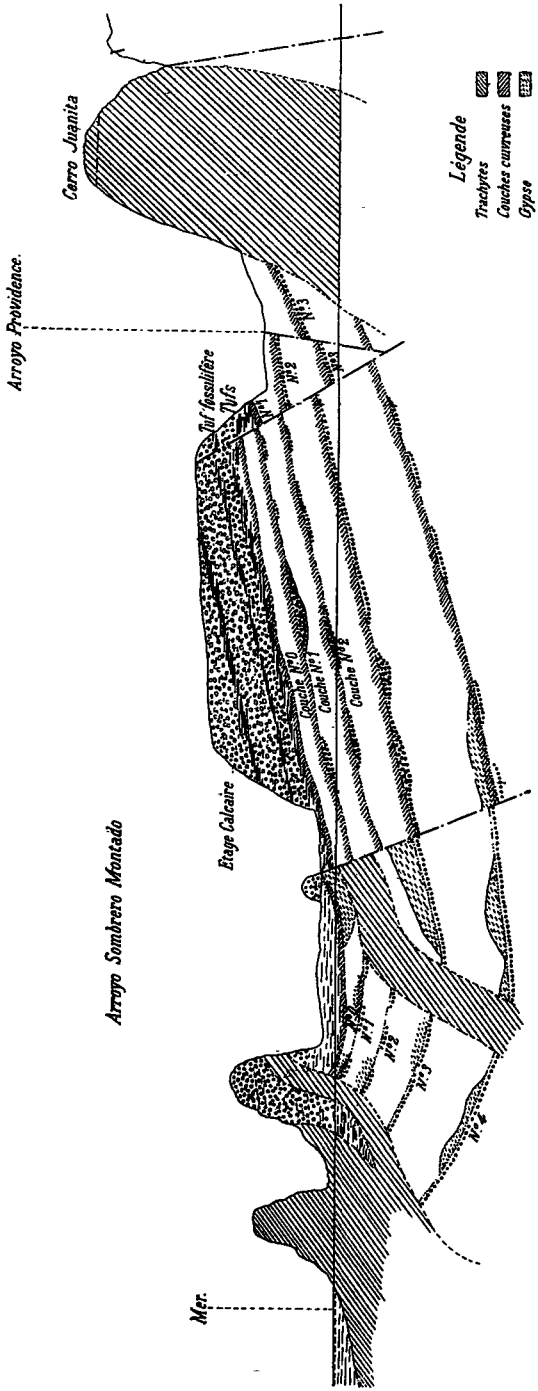


Fig. 333. — Coupe schématique des gîtes cuivreux du Boléo par le Cerro Juanita et l'arroyo de Sombrero Montado.

dû avoir d'abord une origine sulfurée, mais presque entièrement transformés en produits oxydés. Comme sulfures, on trouve rarement de la chalcopyrite en petites bandes; plus souvent, une fine imprégnation de sulfure noir dans les gangues argileuses. Mais les minerais dominants sont les carbonates bleu et vert, l'atacamite, le chrysocolle, les oxydes rouge et noir: le tout réparti dans une gangue tufacée ou argileuse, qui devient parfois stéatiteuse et qu'on appelle alors Javoncillo. Localement, le carbonate bleu prend une curieuse disposition oolithique, dite *Boléo*, qui a fait donner son nom au gisement.

Comme raretés minéralogiques, on a de la boléite (oxychlorure de plomb, cuivre et argent), de la cumengéite (oxychlorure de plomb et de cuivre), de la phosgénite (chlorocarbonate de plomb), de la sphérocobaltite (carbonate de cobalt), puis de la pyromorphite, de l'anglésite, etc. Le manganèse accompagne constamment le cuivre, en acerdèse, pyrolusite, ou wad. Le gypse est très abondant.

Quand on descend dans la couche n° 3 ou qu'on examine les couches inférieures, on y voit augmenter peu à peu la proportion des minerais sulfurés et ceux-ci deviennent dominants vers la cote 50 au-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dessus de la mer, puis sans doute exclusifs au-dessous du niveau hydrostatique.

On peut donc considérer le gisement du Boléo comme ayant eu d'abord, ainsi que tous ceux dont il est ici question, l'allure d'une imprégnation sulfurée avec un peu de galène, de pyrite et de sulfure de cobalt accompagnant la chalcopyrite. Puis une altération superficielle, facilitée par les conditions topographiques et climatériques, a entièrement oxydé ces minerais au-dessus d'un certain niveau, en éliminant certains d'entre eux et concentrant, au contraire, les autres, en même temps que du gypse tendait à se produire par l'action des eaux sulfatées sur les éléments calcaires du terrain encaissant. Tout le soufre de ces minerais oxydés est ainsi passé à l'état de gypse. La concentration connexe du cuivre, du manganèse et du cobalt, avec association de gypse, correspond à un phénomène très habituel sur les affleurements filoniens. En même temps, la teneur en silice est devenue très élevée.

Les remaniements secondaires ont produit, dans la zone oxydée, des concentrations lenticulaires, auxquelles on avait commencé par s'attaquer et dont la disparition a causé un moment de déception. Plus tard, on s'est rendu compte que le véritable gisement était le minerai argilo-sulfuré, qui, depuis 1895, joue un rôle croissant dans la production.

L'analyse donne : pour ce minerai argilo-sulfuré, 6 p. 100 de cuivre, 1,20 de soufre, 30 de silice, 1,30 de chaux et 2,50 d'oxyde de manganèse.

L'exploitation se fait par puits ayant généralement moins de 100 m. et atteignant la couche entre les cotes 150 et 160. On exploite : en amont, des minerais oxydés, dits bons fondants, avec parties payantes irrégulières, et, en aval, des minerais sulfurés plus pauvres, mais plus constants.

La nature de la gangue ne permettant pas un enrichissement par lavage, on doit se borner à un triage sommaire et il reste un minerai très peu fusible, donnant des scories dont la teneur en alumine atteint 16 p. 100. Pour faciliter la fusion, on a été amené à agglomérer en boulets le menu sulfuré, qui prend une part croissante dans la production. La consommation du coke est d'environ 15 p. 100 du lit de fusion. La fusion se fait sur place dans 7 fours et donne de la matte et du cuivre noir, qui sont expédiés en France, aux usines de Givet, pour y être raffinés. La production du cuivre pur, partie de 3 333 t. en 1889, s'est maintenue longtemps, après 1894, aux environs de 10 500 t. En 1909, elle a été de 12 230 t. ; en 1910, de 12 795 t. ; en 1911, de 12 165 t. Le rendement moyen a baissé peu à peu de 4,56 p. 100 en 1903, à 3,55 en 1910.

Ambongo et Boéni (Madagascar). — Il peut être utile, à titre théorique, de signaler ici ce groupe de gisements décrits plus haut[1], où la malachite, l'opale cuprifère et la cuprite, en faibles quantités, imprègnent des formations de tufs associées à des trachytes et à des basaltes qui rappellent un peu le souvenir du Boléo.

Corocoro (Bolivie). — Nous rappelons également, à cette place, le cas de Corocoro, où des grès crétacés sont imprégnés de cuivre natif, de minéraux oxydés et d'énargite le long d'une ligne de dislocation.

[1] Voir tome 2, page 644.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Alghero (Sardaigne)[1]. — A Alghero, au S. S.-E. de Sassari, un banc de grès miocène de 0,1 à 1 m., entre des conglomérats au mur et un calcaire au toit, contient environ 1 à 2 p. 100 de cuivre sous la forme de carbonates.

Naukat (Turkestan). — A Naukat (35 km. W. de Kokand), dans le Ferghana, on connaît des grès cuprifères, regardés comme tertiaires par Mouchketof.

Ces grès fins, associés avec des marnes parfois salifères ou bitumineuses, avec gypse éparpillé dans les fissures et les joints, sont fortement redressés et disloqués.

Leur épaisseur varie de 0,5 à 12 m. On y trouve, soit de la poussière de cuivre natif, soit des concrétions ayant jusqu'à la grosseur d'une tête d'enfant, dans lesquelles le cuivre est seulement le ciment des grains de quartz ou de silicate et atteint une teneur de 50 p. 100. Autour de ces concrétions, le grès renferme une imprégnation nuageuse de cuivre. Accessoirement, de la chalcosine accompagne des débris de bois carbonisés. A la surface, on a de la malachite et de la cuprite.

Les zones cuprifères sont irrégulièrement distribuées dans les grès sur des longueurs de 100 à 500 m.

Australie du Sud. — On a signalé récemment un large dépôt de grès minéralisé avec du carbonate de cuivre, qui s'étend à environ 150 km. N.-W. de Port Augusta et 2,5 km. au Nord de Mount Gunson en Australie du Sud.

B. — GISEMENTS DE CUIVRE DANS LES CALCAIRES

Les gisements de cuivre encaissés dans les calcaires ont pu prendre originellement deux formes tout à fait distinctes. 1° Au contact de roches ignées, une action liée au métamorphisme de contact a souvent développé des gangues silicatées avec association de magnétite et de sulfures complexes. C'est le type Banat, déjà examiné au § V et que nous laisserons maintenant de côté. 2° Ailleurs, les gisements d'origine hydrothermale ont pu, en s'encaissant dans les calcaires, prendre les allures spéciales que produit le type de dislocations propres à ces terrains : ou des systèmes de diaclases, ou des couches de contact entre les calcaires et une roche massive, comme un quartzite, un porphyre, etc. Enfin, ces gisements encaissés dans les calcaires, et spécialement ceux du second groupe, ont, par l'effet des altérations superficielles, qui sont toujours très actives dans ce genre de terrains fissurés, pris fréquemment la forme carbonatée qui leur est propre, avec association d'argiles laissées comme résidu par les calcaires, dolomitisation de ceux-ci, production de grottes, etc., ainsi que nous l'observerons beaucoup mieux près des gîtes de zinc ou même de plomb.

[1] 1908. A. Stella. *Rel. sulle ricerche min. nei giacim. cupr. di Alghero* (Boll. R. Com. geol. Italia; p. 1 à 34).

[2] Beck. t. 2, p. 173.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les formes d'altérations oxydées peuvent être considérées comme tout à fait normales pour les gisements cuivreux encaissés dans les calcaires[1].

Bassin du Niari (Congo)[2]. — Les gîtes du bassin du Niari, qui entrent actuellement dans la période d'exploitation active (environ 1.000 t. de cuivre en 1911), représentent peut-être l'altération superficielle de filons complexes analogues à ceux que nous avons étudiés précédemment en Algérie. Ils nous sont connus par les divers travaux de A. Le Chatelier, Marcel Bertrand, Barrat.

Ces mines du Niari sont situées entre Loudima et Brazzaville, dans la partie du Congo français contiguë au Congo belge. Elles ont été exploitées longtemps par les nègres et approvisionnaient de cuivre toute la région de l'Ogooué et le pays des Batekés ; des maisons de Marseille en tiraient même de la malachite. Les relations plus suivies avec l'Europe ont permis d'importer, au Congo, le cuivre qui forme la principale monnaie du pays et les nègres ont, sauf à Mindouli, cessé les exploitations, que les Européens, d'autre part, sont restés longtemps sans reprendre, le transport des marchandises de la côte aux mines coûtant un prix énorme. En 1895, on payait, par tonne, 1 500 fr.

Peu à peu, ces conditions se sont modifiées par la construction d'une ligne de 121 km. reliant Mindouli à Brazzaville et la grande richesse des minerais altérés, sur lesquels on travaille jusqu'à nouvel ordre, a permis une exploitation, intéressante pour la France, puisque c'est actuellement la seule mine de cuivre un peu notable située sur un territoire français.

On a là une région de terrains primaires, rattachés très hypothétiquement au dévonien et comprenant des calcaires magnésiens (à peu près horizontaux dans cette région) reposant, à l'Ouest de Loudima, sur une formation schisteuse et surmontés à leur tour en discordance, dans le Haut Niari, entre les deux principaux centres cuprifères, par des grès de la formation du Karoo. Ces calcaires sont compacts, d'une couleur gris bleuâtre et en couches nettement stratifiées. La magnésie y est généralement abondante, ainsi que dans les argiles superficielles, résultat de l'altération de ces calcaires et les fait parfois passer (près de Loudima) à de véritables dolomies, comme cela se produit si souvent dans les calcaires altérés par réactions superficielles.

Des explorations attentives, faites entre la Loudima et Mindouli (sur un affluent de la Loukoni), suivant une longueur totale de près de 100 km., en remontant les vallées de la Loemba, du Nkenké, de la Loutété, paraissent avoir démontré que la venue métallifère était uniquement intercalée dans les calcaires et disparaissait dans les grès superposés : ce qui,

[1] Cf. 1858. Delanoue. *Cuivre carbonaté dans la craie d'Angoulême* (B. S. G., 2e, t. 15, p. 314).

[2] 1886. Ch. de Chavannes. (Bull. Soc. géogr. de Lyon), février-mars 1886 in *Reclus*, (13 p. 279). — E. Dupont. *Lettres sur le Congo*. — 1893. A. Le Chatelier. *Sur le gisement de dioptase du Congo français* (d'après des déterminations de Lacroix). (C. R. 24 avril). — 1894. M. Bertrand. *La géologie et les mines du bassin du Niari* (d'après les observations de Chollet, Thollon, Regnault, Lamy, Alvernhe) (Rev. gén. des Sciences, 15 nov. 1894, avec carte du bassin du Niari). — 1895. M. Barrat. *La géologie du Congo* (Ann. des mines, p. 460 à 466 et 499 à 500; avec croquis des gîtes de Mindouli). — 1900. A. Le Chatelier. *Bassin minier du Niari* (Géographie, 1900, p. 101). — 1903. L. De Launay. *Rich. min. de l'Afrique*, p. 124, avec carte, p. 125. — Coll. Ec. d. M. Coloniale.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

sauf vérification, prouverait l'âge hercynien de la formation métallifère, antérieure à ces grès du type Karoo.

Les conditions du gisement primitif et profond ne sont malheureusement pas connues, les travaux actuels n'ayant que quelques mètres de profondeur. On a bien vu, entre les mains des noirs, de la chalcosine à peu près pure ; on a recueilli quelques blocs de cuivre gris et de galène avec veines oxydées ; mais chalcosine et cuivre gris ne sont eux-mêmes que des formes altérées superficielles et le type ordinaire des gisements présente une altération encore plus manifeste, dont nous verrons bientôt les types. Ne connaissant que le chapeau d'altération des gîtes, on en est réduit aux hypothèses pour le gîte profond, qui a des chances pour être un mélange, plus ou moins complexe, de galène, chalcopyrite, pyrite de fer et blende, contenant, suivant les points, une abondance plus ou moins grande de l'un ou de l'autre des métaux (plomb, cuivre, fer et zinc) et constituant probablement des filons, ou filons-couches, avec phénomènes de substitution, localisés dans une zone plissée de calcaires. Les caractères particuliers sont ceux qu'entraîne toujours l'altération des minerais en terrains calcaires.

Quoi qu'il en soit, la forme superficielle des gîtes, seule accessible actuellement, rappelle des formations similaires, que l'on exploite activement dans l'Oural (près de Mednoroudiansk[1]) et dont nous avons eu autrefois un type intéressant en France, à Chessy[2].

L'altération des sulfures métalliques profonds au contact des eaux superficielles, chargées d'oxygène et d'acide carbonique et des calcaires, a transformé le sulfure de fer en limonite, celui de cuivre en malachite, dioptase (silicate de cuivre hydraté, négligé par les indigènes), oxyde, et, plus profondément, chalcosine ou cuivre gris, le zinc en silicate, parfois manganésifère (calamine ou willémite) et laissé la galène, comme d'habitude, à peu près intacte, sauf un commencement d'altération en cérusite et wulfénite, en même temps que l'attaque des calcaires donnait des argiles rouges, mêlées de veinules siliceuses, où sont empâtés, plus ou moins irrégulièrement, les minerais précédents.

La description du gîte de *Mindouli*, donnée par Barrat, fait connaître son aspect, qui, du pied, est celui d'un cirque de collines, dans lequel se dessine, à environ 80 m. du fond, au-dessus d'une pente d'argile rouge, une ligne noire formée par une couche en saillie d'un minerai noirâtre à 35 p. 100 de bioxyde de manganèse et 16 p. 100 d'oxyde de cuivre, ayant 1 à 2 m. de puissance. Au-dessus, d'après Barrat, sur une hauteur de 50 m., une roche calcédonieuse contient des géodes nombreuses avec cristaux et mouches de dioptase et de malachite. La crête de la colline est formée d'argile rouge ; en la franchissant, on trouve un ruisseau, où Thollon a recueilli de belles dioptases avec cristaux d'argent natif et une roche grise légère, composée presque exclusivement de silicate de magnésie ; en remontant ce ruisseau, on observe, dans la roche quartzeuse, plusieurs filons verticaux, larges de 4 à 5 cm., contenant du sulfure de cuivre argentifère.

[1] Voir tome 2, p. 700 à 704.

[2] Voir tome 1, p. 356.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

D'autres parties du même massif calcaire renferment de la galène, avec cérusite, wulfénite, malachite. On trouve également, à Mindouli, un silicate de cuivre amorphe, dont la couleur varie du bleu au vert et qui a la même composition que la dioptase. Enfin, A. Le Chatelier a signalé une roche, constituée par un mélange de quartz, de willémite, de carbonates de chaux et de plomb.

Les minerais, qui ont été exportés en France en 1911, étaient d'une qualité exceptionnelle tenant jusqu'à 60 et 70 p. 100 de cuivre avec 3 kg. d'argent à la tonne.

Le massif de *Mboko Songo,* situé plus à l'Ouest dans la région du poste de Bouenza, renferme de nombreux gisements de cuivre et de plomb dans des conditions analogues, mais avec moins de silice dans les terrains, en sorte que les altérations ont pris uniquement la forme carbonatée. Le cuivre paraît être plus abondant à l'Ouest, où Dupont a vu des poches d'argile rouge, creusées dans des calcaires bleus, au contact des schistes noirs contenant des blocs de malachite, galène, cérusite, limonite, phosphate de fer.

Près de *Loudima,* à Tchidounga, il existe un autre gîte de cuivre remanié.

On a cru remarquer dans certains gîtes, un appauvrissement en cuivre et un enrichissement relatif en plomb, quand on s'enfonce. Le fait, s'il est exact, doit résulter de la concentration qui se produit toujours, pour les gîtes de cuivre, à une certaine distance de la surface et qui semble les enrichir là localement, comme nous l'avons maintes fois signalé[1].

Malmani (Transvaal), etc. — Ailleurs, en Afrique Australe, nous avons des cas de métallisations dispersées dans les fissures d'une zone calcaire et arrivant (surtout par l'effet des altérations ultérieures) à produire l'apparence d'un calcaire métallisé.

Un exemple typique est donné par le district de *Malmani* (Marico) au Transvaal, qui sera surtout étudié à l'occasion de l'or. De nombreuses veines très irrégulières recoupent la dolomie superposée à la série du Blackreef, au-dessous de la série de Prétoria. Ces veines, dans lesquelles on retrouve manifestement, outre la métallisation primitive, l'effet de circulations d'eau récentes à travers des dolomies très fissurées, renferment, généralement, avec de la limonite, de petites quantités de minerais cuivreux : malachite, azurite, érubescite et chalcopyrite.

Une autre zone nettement filonienne, allant du Sud de Prétoria au district de Marico à l'Ouest, présente également du cuivre dans un groupement complexe, surtout caractérisé par le plomb.

Sous une autre forme, l'Afrique du Sud renferme encore un gisement de cuivre dans les calcaires, à *Palabora (Murchison Range).*

On voit là, d'après Bordeaux, sur une plaine granitique, une colline de calcaire blanc cristallin, dont la base dessine une ellipse, ayant son grand axe Nord-Sud sur 3 km. de long. Suivant l'axe de cette ellipse, on a une sorte de dyke de magnétite d'environ 1 m. de puissance, taché par des sels de cuivre, et de ce dyke divergent, en tous sens, des veines et

[1] Tome 2, p. 729. — Voir également t. 1, p. 101, 166, 191.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

des veinules de sulfure de cuivre, érubescite, cuivre gris, panabase, etc., à teneur en cuivre souvent élevée. Il est possible qu'on soit là sur l'affleurement d'un filon de pyrite considérable. Aucun travail récent n'a été tenté ; mais les indigènes ont autrefois criblé cette colline de petites fouilles superficielles.

Tsoumeb (S. W. Africain Allemand)[1]. — Ce gisement fournit un bon type de minerais cuprifères développés. par venue hydrothermale, au contact de calcaires et de grès et ultérieurement transformés par altération avec creusement de grottes, etc. On y retrouve l'association du cuivre et du plomb, dont nous avons plus haut signalé la fréquence[2].

D'après les descriptions, on a, à 1 300 m. d'altitude, une formation de dolomies siluriennes ou dévoniennes avec grès intercalés. Les principaux minerais se trouvent au contact des deux terrains, quelques-uns seulement dans le grès même. Dolomie et grès ont été silicifiés au voisinage du minerai, la dolomie transformée en un hornstein, les grès souvent pénétrés de veines quartzeuses. Cette dolomie renferme, en même temps, de nombreuses grottes, qui prouvent l'activité des actions dissolvantes superficielles.

La zone métallifère, épaisse de 10 à 20 m., a une allure bréchiforme et se dresse presque verticalement comme la dolomie encaissante, tandis que celle-ci a plus loin un pendage très adouci. Elle renferme, à l'Est, des minerais surtout plombeux, tenant 50 de plomb pour 10 de cuivre, avec 4 d'antimoine, un peu d'argent et d'or. A l'Ouest, des minerais arrivent à contenir presque autant de cuivre que de plomb. Dans l'intervalle, on a une partie stérile.

Les minerais regardés comme primaires forment un agrégat cristallin sans druses ni concrétions, ni gangues, dans lequel dominent la galène, puis la chalcosine, l'enargite et la blende. Mais on a surtout exploité des minerais altérés : anglésite, cérusite, mimétèse, brochantite, azurite et malachite, cuivre natif, limonite, calamine, etc. avec divers minéraux rares.

Cette mine a extrait, jusqu'en 1908, 29 000 t. de minerais riches cuproplombifères.

Europe (Chessy, Mednoroudiansk, Miedzianka Gora). — Les types de gisements cuprifères encaissés dans les calcaires n'ont pas manqué en Europe et ils y ont présenté superficiellement leurs types d'altération habituels. Mais, par suite de son rapport même avec la surface du sol, c'est une forme de gisements qui tend à disparaître avec les progrès des exploitations.

Nous rappelons seulement ce qui a été dit plus haut sur le gisement de *Chessy* dans la Rhône[3] et sur celui de *Mednoroudianski* dans l'Oural[4]. Tous deux auraient pu être réservés pour ce paragraphe.

[1] 1904. KUNTZ. *Kupfererz in S.W. Afrika* (Z. f. pr. G., p. 404-405 ; cf. Tr. geol. Soc. S. Af., t. 5, p. 70-77 et pl. 20). — 1907. KNIGHT. *The Otavi Copper and Lead mines* (Eng. a. Min. J., 15 juin, p. 1142.). — 1908. MAUCHER. *Die Erzlagerst. von Tsumeb* (Z. f. pr. G., p. 24-32). — 1908. HERMANN. *Beitr. z. Geol. von Deutsch. S. W. Afrika* (Z. d. D. g. G., t. 60, p. 266).

[2] Tome 2, page 729 ; f. p. 797 et note 1 de la même page.

[3] Tome 1, page 356.

[4] Tome 2, pages 700 à 704.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

En Pologne russe, le type des zones de contact existe à *Miedzianka*, au N.-N.-W. de Kielce, où l'on connaît une formation de contact cuprifère entre des calcaires du dévonien moyen et des quartzites du dévonien inférieur, qui lui sont anormalement superposés. Les minerais, associés à un calcschiste bitumineux, comprennent pyrite, chalcopyrite et galène, avec des minerais d'altération divers, azurite, malachite, limonite, pyrolusite, comme il s'en produit toujours en pareil cas.

XI. — ALTÉRATIONS SUPERFICIELLES

Les altérations superficielles, qui ont été étudiées d'une façon générale au Ch. X[1], prennent, dans le cas du cuivre, une importance pratique tout à fait considérable et la plupart des gisements à haute teneur leur sont attribuables : ce qui entraîne nécessairement la disparition progressive de ces hautes teneurs à mesure que la mise en valeur des gisements mondiaux sera plus avancée,

Nous avons vu qu'il y avait lieu de distinguer deux zones : l'une d'oxydation, ou, occasionnellement, de chloruration ; la seconde, de cémentation. C'est à la deuxième surtout que s'applique la remarque précédente. Dans la première, on trouve les carbonates et silicates, l'oxyde de cuivre, parfois le cuivre natif ; dans la seconde, la chalcosine, l'érubescite, le cuivre gris, avec la chalcopyrite qui reste bien rarement abondante en profondeur.

1° Zone d'oxydation. — La zone d'oxydation ne prend de véritable importance pratique qu'en milieu calcaire. Elle donne lieu alors à des carbonates de cuivre, que l'on peut comparer aux carbonates de fer ou de manganèse précédemment étudiés et surtout aux carbonates de zinc ou de plomb dont il sera question dans des chapitres ultérieurs. Nous venons d'avoir à signaler plusieurs cas de ce genre : à Chessy, à Mednoroudiansk, au Niari, à Malmani, etc. Souvent ces carbonates s'accompagnent d'argiles dues à la décalcification des calcaires encaissants. Dans un assez grand nombre de cas, il s'est produit une concentration simultanée de silice, qui a donné finalement des minerais assez difficiles à traiter malgré leur haute teneur.

2° Zone de cémentation. — C'est, avant tout, la zone de cémentation dont l'extension plus ou moins grande fait la valeur des gisements cuivreux et détermine, par sa disparition, leur appauvrissement profond. Il est d'autant plus utile d'insister sur ce genre de phénomènes qu'on les a très souvent méconnus et qu'une tendance générale porte à considérer comme originelles et persistantes des formes de minerais riches (cuivre gris, chalcosine, érubescite, etc.) destinées à disparaître parfois très vite. La limitation profonde de cette zone de cémentation manque souvent de netteté et l'on voit les enrichissements qu'elle provoque se continuer parfois jusqu'à plusieurs centaines de mètres de la superficie, par veines disconti-

[1] Tome 1, pages 179 à 207 et, plus spécialement, page 191, pour le cuivre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nues, qui s'effacent l'une après l'autre à mesure que les travaux descendent, amenant alors, pour la teneur en cuivre, une diminution progressive dont nous avons déjà signalé bien des exemples[1].

L'origine de cet enrichissement, qualifié ici de superficiel, tient évidemment à ce que cette zone haute de cémentation a absorbé et concentré peu à peu de grandes quantités de cuivre prises aux parties plus élevées du filon, aujourd'hui disparues par l'érosion : ce cuivre ayant été entraîné par un mouvement descendant des eaux. Quant au mécanisme de la réaction, nous avons essayé ailleurs de l'analyser en le comparant à ce qui se passe industriellement dans le grillage en tas des minerais[2].

La pratique du grillage en tas, appliqué à des noyaux de pyrite cuivreuse contenant au début 3 à 4 p. 100 de cuivre, est la suivante. Au bout de quelques jours, on voit, à la surface du nodule, se former une croûte d'oxyde de fer avec un peu d'oxyde de cuivre ; puis, au-dessous, un enduit velouté brun plus riche en cuivre, qui sépare les oxydes de la pyrite cuivreuse inaltérée. Peu à peu la croûte ferrugineuse s'agrandit : la zone intermédiaire devient de la chalcopyrite à 30 p. 100 de cuivre. Enfin, au bout de deux mois, quand la chalcopyrite a gagné le centre, il apparaît, sous la croûte extérieure, une zone d'érubescite tenant 50 à 70 p. 100 de cuivre.

Pour expliquer ces réactions, on admet que l'oxygène, pénétrant à travers la croûte poreuse oxydée, incessamment reformée, vient brûler le bisulfure de fer en donnant du monosulfure et du soufre volatilisé, qui s'échappe en sens contraire. Ce soufre, rencontrant un peu plus loin de l'oxydule de cuivre superficiel, donne du sous-sulfure de cuivre, qui se dissout dans le mono-sulfure de fer produit un peu auparavant en produisant une véritable matte. Le cuivre de la superficie est donc sans cesse ramené dans cette zone relativement profonde, jusqu'à laquelle l'altération vient de pénétrer, tandis qu'à la surface la croûte d'oxyde de fer s'accroît peu à peu et que le centre reste intact. Une fois la pyrite de fer changée en chalcopyrite, une concentration analogue, qui part de la surface pour gagner le centre, accentue peu à peu la teneur en cuivre jusqu'à celle de l'érubescite, puis de la chalcosine.

Quand, au lieu de griller, on soumet à un lavage oxydant, le principe de l'opération reste le même ; mais le déplacement moléculaire s'accentue par la pénétration capillaire des sels en dissolution.

Les phénomènes peuvent devenir plus complexes si les eaux altérantes, au lieu d'apporter simplement de l'oxygène, sont elles-mêmes chargées d'éléments sulfureux comme dans une source thermale, ou renferment du cuivre en dissolution, comme cela doit nécessairement se produire quand un gisement, formé de nombreux amas cuprifères, est soumis à l'action des eaux superficielles. On peut alors observer des réactions successives en sens contraires, dont les gîtes d'argent donnent de très beaux exemples, avec leurs masses d'argent sulfuré, d'abord transformées en argent

[1] Nous avons rencontré le fait, même dans les gisements les plus importants et les plus continus en profondeur, auxquels semblerait d'abord s'appliquer le moins notre observation : à Rio-Tinto (p. 673), comme à l'Anaconda (p. 698) et à Calumet and Hécla (p. 753) ; cf. p. 624.

[2] *Métallogénie de l'Italie*, p. 65 et suiv. ; Cf. *ibid.*, p. 84 à 87.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

natif, qui lui-même s'est resulfuré là où il ne s'est pas trouvé protégé par le dépôt immédiat d'une gangue de calcite autour de lui (Sarrabus, Kongsberg).

De même, si l'on étudie un fragment de cuivre ayant séjourné, pendant des siècles, au contact d'une eau thermale, comme c'est le cas pour des pièces de monnaie trouvées dans des sources diverses utilisées dès l'époque romaine et étudiées par Daubrée, on observe, à partir du centre, cuivre natif, chalcosine, érubescite, chalcopyrite : c'est-à-dire que les eaux sulfatées et ferrugineuses de la source ont, sous l'influence des matières organiques réductrices, opéré la transformation inverse de celle qu'auraient produite, pour un affleurement de filon, les eaux douces de la surface. Nous surprenons ainsi la possibilité du passage d'un minerai à un autre par des réactions très simples.

Des gisements comme ceux de Monte Catini, où des fragments de pyrite cuivreuse ont dû être soumis à une longue altération de ce genre, nous ont permis d'étudier en petit les effets de ce phénomène. Les nodules habituels sont ceux où le centre est en chalcopyrite et l'intérieur en érubescite, c'est-à-dire ceux où la transformation de la chalcopyrite en érubescite (qui avait pu déjà être précédée par celle de la pyrite cuivreuse en chalcopyrite) n'a pas encore gagné jusqu'au centre ; puis toute la boule atteint la teneur de l'érubescite. Mais, si l'opération continue encore, l'érubescite extérieure semble parfois exceptionnellement susceptible de revenir à la teneur en cuivre de la chalcopyrite.

Le même gisement prête, en outre, à cette remarque que, dans les parties blanches du filon blanc (à sels de fer généralement non peroxydés), l'approche des minerais de cuivre est signalée par des zones rougies, c'est-à-dire par l'équivalent de la croûte ferrugineuse qui se produit dans le grillage.

Ce qui s'est passé là en petit est tout à fait du même ordre que la cémentation du cuivre, admise ici par nous dans les parties hautes des gisements.

Au cours de ce chapitre, nous nous sommes attaché à mettre ce phénomène en évidence et à en montrer les conséquences. Nous avons vu, par exemple, que, dans les grands amas pyriteux comme à San Domingos et à Rio Tinto, la teneur en cuivre atteignait un maximum très net sous le chapeau de fer et continuait ensuite à diminuer progressivement dans un minerai non altéré en apparence jusqu'au point le plus profond de l'amas.

Il est bien probable aussi que la même cause sera intervenue pour amener l'enrichissement en cuivre des filons stannifères du Cornwall, des filons plombo-cuprifères de Linares, de Freiberg (mine Himmelfahrt, etc.). En tout cas, nombre de grands gisements d'Australie et de l'Ouest Américain n'auraient pu, dans ces dernières années, être exploités, comme nous l'avons vu, si cet enrichissement, dont l'effet ne s'atténue que progressivement et dure souvent très bas, n'avait facilité les débuts du travail et permis à des installations nouvelles d'attendre plusieurs années l'abaissement de leur prix de revient.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

TABLE SOMMAIRE DU TOME II

CH. XXVII. — *Etain* 1
Etain primaire d'Europe (19) ; d'Asie (49) ; d'Australie (59) ; de l'Amérique du Nord (66) ; étain tertiaire (67).

CH. XXVIII. — *Niobium, tantale, germanium, uranium, radium* 76

CH. XXIX. — *Tungstène* 90

CH. XXX. — *Potassium* 98
Strassfurt (102) : Haute-Alsace (111).

CH. XXXI. — *Sodium, Lithium* 114
Chlorure de sodium (116) ; sulfate (158) ; carbonate (159) ; Lithium (161).

CH. XXXII. — *Calcium* 163
Pierres de construction (165) ; calcaires à chaux (169) ; craie (170) ; pierres lithographiques (171) ; marbres (174) ; sulfate de calcium (182).

CH. XXXIII. — *Baryum et strontium* 195

CH. XXXIV. — *Magnésium, glucinium, thorium et terres rares* 211

CH. XXXV. — *Aluminium* 226
Bauxite (233) ; rubis, corindon (239) : alunite (245).

CH. XXXVI. — *Chrome* 253

CH. XXXVII. — *Fer* 267
Industrie et statistique (267) ; généralités métallogéniques (282) ; gîtes d'inclusions (303) ; amas de ségrégation directe des roches basiques (311) ; amas associés à des roches acides ou neutres (318) ; gisements au contact des roches éruptives et des calcaires (339) ; filons (347) ; substitutions à des calcaires (364) ; gisements sédimentaires marins (410) ; sédiments lacustres (502) ; minerais de concentration continentale (505).

CH. XXXVIII. — *Manganèse* 524

CH. XXXIX. — *Nickel* 573

CH. XL. — *Cobalt* 604

CH. XLI. — *Cuivre* 619
Industrie et statistique (619) ; généralités métallogéniques (634) ; inclusions (639) ; ségrégations basiques (645) ; amas, fahlbandes et diffusions de pyrite cuivreuse (654) ; filons associés à des roches acides ou neutres (680) ; gisements de chalcopyrite et magnétite au contact des roches éruptives et des calcaires (699) ; filons de départ acide (710) ; filons de chalcopyrite à gangue quartzeuse passant au type plombeux (728) ; filons à gangues carbonatées (738) ; cuivre natif (747) ; grès, schistes et calcaires cuprifères (757) ; altérations superficielles (799).

EVREUX, IMPRIMERIE CH. HÉRISSEY, PAUL HÉRISSEY, SUCCr

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC