Ecole Nationale Supérieure des Mines

Cours

de

Géologie appliquée

professé

par M. de Launay

FACULTÉ DES SCIENCES
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE DYNAMIQUE
ET CENTRES DE RECHERCHES GÉODYNAMIQUES
(Paris-Sorbonne - Thonon-les-Bains - Villefranche-sur-Mer)
1, rue Victor-Cousin - PARIS-Ve

Année Scolaire 1919-1920

don : LÉON LUTAUD

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Cours de Géologie appliquée.

But de la Géologie appliquée. — La Géologie appliquée étudie les gisements de substances minérales utiles, que ce soient des minerais métalliques, des minerais quelconques, des eaux thermales ou des combustibles.

Nous n'étudierons cependant pas ces derniers dont l'étude a été faite dans le Cours de Géologie générale et dans celui d'Exploitation des Mines.

Divisions du Cours. — Le Cours sera divisé en deux parties :

1° *Questions générales*, concernant les données qui s'appliquent à tous les genres de gisements et à toutes les substances minérales, indépendamment de leur nature.

2° *Description des substances minérales* où les substances seront décrites en suivant l'ordre de la classification chimique. Pour chacune il sera indiqué :

1° La statistique de production.

2° Les diverses régions de production.

3° Les gisements utilisables, avec des notions sur l'exploitabilité, les teneurs, les impuretés, la nature du gisement, etc.

1ère Partie

Notions générales

Exploitabilité d'un gisement. — La première leçon sera consacrée à l'examen des problèmes pratiques que pose l'exploitation d'un gisement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

et qui nécessitent l'emploi de la géologie appliquée

L'exploitabilité d'un gisement est d'abord fonction de la teneur. C'est ainsi qu'un minerai d'or est exploitable à des teneurs de quelques grammes à la tonne, tandis qu'un minerai de fer exploitable doit contenir au minimum 25 à 30 % de fer, soit 250 à 300 kilogs de métal à la tonne.

On arrive ainsi à la notion de teneur limite, c'est la teneur au-dessous de laquelle il n'est pas possible d'exploiter dans des conditions économiques. Mais il faut bien remarquer que cette teneur limite est essentiellement subordonnée pour un même métal à la nature du gisement, et pour une même nature du gisement aux conditions industrielles d'exploitation.

C'est ainsi que, pour les minerais aurifères du Witwatersrand, il faut au moins 20 fr à 22 fr d'or par tonne; dans l'Alaska, le Dakota la teneur limite s'abaisse de 8-9 fr d'or à la tonne; tandis que les exploitations hydrauliques d'alluvions n'exigent qu'une teneur de quelques sous d'or au mètre cube.

Par conséquent la valeur d'un minerai est déterminé non seulement par l'espèce minéralogique, mais encore par les conditions du marché, qui introduisent dans la notion de teneur limite un facteur essentiellement variable.

La perfection de l'outillage d'extraction ou de traitement permet aussi d'abaisser la teneur limite. Par exemple, au Transwaal, la teneur limite a été abaissée du chiffre de 30 fr à celui de 22 fr: on a donc pu reprendre des massifs minéralisés, considérés autrefois comme stériles et entreprendre l'exploitation de massifs réservés. On avait évalué la quantité d'or des gisements à 8 à 10 milliards de francs. Aujourd'hui on estime qu'il en reste encore pour 20 milliards. Il ne s'ensuit pas que les premières évaluations étaient inexactes, mais bien que la teneur limite s'est abaissée.

Au contraire, pour certaines substances, le prix de revient de la tonne extraite peut augmenter, par suite d'exigences nouvelles de la main-d'œuvre.

D'autres fois encore, l'augmentation de la demande d'une certaine substance provoque de nouvelles recherches, qui aboutissent à la découverte de nouveaux gisements. C'est le cas du Thorium et des terres rares; les quelques gisements de monazite connus au moment de l'invention du bec Auer ne furent plus bientôt suffisants et les prix s'enflèrent jusqu'à 1000 fr. le kilog. Des prospections heureuses ayant amené la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

découverte d'énormes gisements de monazite, le prix s'est abaissé à 3 f. et les anciens gisements ont dû être abandonnés.

De même les anciens gisements de nickel de Saxe et d'Angleterre ont dû être abandonnés depuis l'exploitation des serpentines pimélitifères de la Nouvelle Calédonie. Depuis une nouvelle baisse a été provoquée par la découverte des gisements du Canada.

On s'explique donc que la teneur moyenne des minerais extraits d'une mine puisse s'abaisser avec le temps sans qu'il y ait abaissement de la teneur en profondeur. Le fait peut provenir simplement de l'abaissement de la teneur-limite, qui a provoqué la mise en exploitation de parties considérées jusqu'alors comme inexploitables.

La question de la valeur d'un gisement est beaucoup plus complexe. Elle peut se poser dans le cas d'une mine déja exploitée ou d'une mine nouvelle. Le problème est presque le même dans les deux cas, car un filon n'est pas constant et il est rarement seul. Le problème se pose même dans une mine en pleine activité, car il importe dans une exploitation sagement conduite, d'éviter les à-coups de production. Quand on a des galeries de recherches déja trouvées et quand on a isolé des massifs minéralisés, on peut théoriquement se rendre compte de la richesse du gîte et diriger son exploitation en conséquence.

En effet, on peut tracer deux courbes donnant la teneur et l'épaisseur du gîte en chaque point d'une galerie. Le produit de ces deux données donne la quantité de produit utile. On organise donc les chantiers de façon que la somme de ces produits utiles soit sensiblement constante. C'est ce qui indique l'importance primordiale des travaux de traçage dans un gisement filonien.

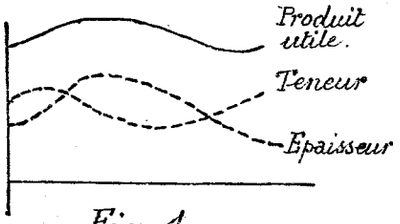


Fig. 1.

Prises d'essai.— La question des prises d'essais a un intérêt tout particulier. La prise d'essai, pour être bien faite, doit donner une idée de la teneur moyenne et elle doit être exécutée en conséquence. On doit donc éviter de prélever les échantillons uniquement dans les parties friables — qui sont en général les plus riches — ou par réaction uniquement dans les parties les plus dures.

Prospection d'une mine nouvelle.— Les mines se trouvent en général dans des régions montagneuses. La plupart du temps, la découverte

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

est dûe à des paysans, des chasseurs et les premiers travaux d'exploration ou même de petite exploitation sont faits par de petits capitalistes locaux. En général, ces travaux faits sans méthode et sans capitaux suffisants n'aboutissent pas. De nouveaux travaux d'exploration sont ensuite entrepris par des compagnies plus importantes.

Dans certains cas, une mine ancienne exploitée pour une certaine espèce de minerai est susceptible d'en fournir de nouveaux. On peut en citer de nombreux exemples. La mine de Fortuna qui exploitait de la galène avait son puits foncé dans un massif de calamine, dont l'existence n'a été reconnue, bien plus tard, que fortuitement. Dans d'autres cas, on avait exploité de la pyrolusite en rejetant le carbonate de manganèse blanc comme stérile !

Les travaux de recherche doivent déterminer en premier lieu l'emplacement du filon. La manière la plus sûre de rencontrer un filon est de pratiquer un travers-bancs et non une galerie en direction. L'affleurement est particulièrement difficile à reconnaitre, car le filon n'est ni rectiligne, ni continu; de plus, l'affleurement peut être recouvert de parties non défrichées, ou broussailleuses ou encore être recouvert d'éboulis. La reconnaissance s'effectue alors par tranchées transversales, et l'affleurement est déterminé approximativement par points; on relève les puissances et les teneurs quand il y a lieu.

Ayant fait les tranchées on procède, s'il y a lieu, par descenderies. On a ainsi un aperçu de la longueur du filon et de la puissance minéralisée. Reste à déterminer la 3e dimension, c'est-à-dire la continuité suivant l'inclinaison. Dans ce sens un filon n'est pas indéfini : un filon est en effet constitué par une fracture remplie de minerai et il n'y a pas de raison pour que cette fracture soit indéfinie.

Mais cette considération serait sans importance pratique si la dimension du filon suivant le pendage était du même ordre que sa longueur. En effet, les filons de 1 kilomètre ½ de longueur sont fréquents; si la minéralisation descendait jusqu'à une profondeur du même ordre, elle pourrait être considérée pratiquement comme indéfinie puisque les travaux d'exploitation ne peuvent guère descendre plus bas. Mais il n'en est rien pour d'autres raisons; il existe deux sortes de filons : les <u>vrais filons</u> ou fractures continues et profondes provenant de mouvements tectoniques, et les <u>faux filons</u> ou fractures locales sans continuité provenant de glissements ou de mouvements locaux de terrains; mais même dans un vrai filon le remplissage est limité. A la surface, il y a eu une partie, aujourd'hui disparue par érosion où le minerai ne s'est pas

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

déposé. De même en profondeur, il y a eu également dès le début, une zône où le filon s'arrêtait. Dans certaines régions, ou plutôt dans certaines provinces minéralogiques, on connaît les limites approximatives de profondeur. En Espagne, par exemple, la minéralisation des filons plombifères du Sud-Est ne dépasse pas une profondeur limite de 300 à 400 mètres.

La question des frais d'exploitation est des plus importantes. On doit toujours prévoir des travaux d'exploration et de recherche importants de façon à ne pas être pris au dépourvu quand la partie superficielle est exploitée. On retrouve en effet fréquemment des passes riches après des passes stériles : ce fait est facilement vérifiable par le plan des travaux d'un gîte filonien. De même dans les mines domaniales allemandes, on a pu retrouver des parties excellentes après avoir travaillé à perte pendant plus de 50 ans.

L'évaluation au cube du minerai exploitable est fort difficile; on est forcé d'admettre la continuité entre les points bien connus, ce qui n'est pas toujours réalisé.

La question des conditions de vente demande l'étude des cours, la prévision des cours futurs et surtout de l'amplitude probable des fluctuations.

La main-d'œuvre est un gros souci surtout quand il faut se procurer plusieurs milliers d'ouvriers dans une région peu peuplée : on peut être forcé de faire appel à la main-d'œuvre étrangère, comme au Transvaal ou dans l'Est de la France. La question des bois de mine peut aussi amener certaines difficultés au bout d'un certain temps.

Inversement, les frais d'exploitation peuvent diminuer, par suite de l'établissement d'une nouvelle voie ferrée par exemple. Au début d'une exploitation on est en général porté à s'exagérer l'importance de la diminution des frais quand l'entreprise sera en régime de production normale, et l'avenir ne justifie pas toujours cet optimisme.

Principaux groupes de gîtes métallifères

On peut classer les gîtes métallifères en divisions assez nettes selon leur origine.

I – Gîtes primaires. 1° Gîtes d'inclusion. — Le minerai

peut être disséminé dans la masse d'une roche ignée au même titre que les autres éléments. Tel est le cas de la cassitérite ($Sn O_2$) qui se trouve fréquemment dans les granites à la teneur de 1 ‰, et qui peut devenir exploitable quand la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

roche est Kaolinisée. Ces gîtes peuvent présenter un grand intérêt quand la roche désagrégée a subi une préparation mécanique naturelle par les agents d'érosion, comme les sables stannifères de Bretagne ou les sables à magnétite utilisés dans les métallurgies primitives et repris aujourd'hui pour le traitement électrique.

2° Gîtes de ségrégation. — Quand un gîte d'inclusion contient des concentrations particulièrement importantes en un de ses points, il prend le nom de gîte de ségrégation. Par exemple une masse homogène formée des éléments A B et C peut présenter en certains points, des concentrations des éléments A, B ou C soit au centre, soit à la périphérie. Par exemple, les spinelles (magnétite, magnétite à 10-14 % de TiO^2), le fer chromé, se concentrent au centre, pendant que le cuivre, le nickel fuient à la périphérie, avec l'étain, le tungstène, le bismuth et l'or.

Il peut se produire de la pneumatolyse ou minéralisation par les gaz volatils qui entraînent les minéraux à la périphérie. Le premier minéralisateur est l'eau, soit "juvénile", soit provenant de la surface et revolatilisée. Souvent le chlore ou le soufre l'accompagne.

Les minerais de la ségrégation interne sont en général oxydés, plus ou moins complètement, et quelquefois natifs. Les minerais de la ségrégation périphérique sont en général des sulfures. L'étain qui s'échappe toujours sous la forme de $SnCl_4$, s'oxyde ensuite et donne SnO_2 ou cassitérite. Le départ périphérique est donc accompagné d'émission de chlore ou de vapeur d'eau.

3° Gîtes d'imprégnation diffuse. — Quand un magma de roches massives est entouré d'une ceinture de schistes, on trouve fréquemment des gisements soit au contact, soit en infiltrations entre les feuillets schisteux, soit même en amas de plus ou moins grande dimension, que nous désignerons sous le nom d'imprégnations diffuses.

4° Gîtes filoniens. — Ils se forment par dépôt de minerais apportés par les gaz minéralisés dans des fractures préexistantes. En profondeur l'étain se dépose, puis le cuivre, puis le plomb et le zinc, enfin en surface le mercure.

II. Gisements secondaires.

— Ils résultent de l'altération des gisements primaires sous l'influence des agents d'érosion. On peut avoir des alluvions minéralisées ou de véritables sédiments, quand les alluvions se sont déposés dans un bassin de sédimentation.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En résumé, on a affaire à une succession constante de 4 phénomènes :

1° Fusion des roches massives,

2° Départ d'éléments minéraux,

3° Transport par les gaz minéralisateurs,

4° Phénomènes superficiels.

Régions minéralisées.— Il faut admettre que certaines portions de l'écorce étaient originairement plus minéralisées que d'autres. S'il n'en était pas ainsi, toutes les régions où se trouvent des fractures seraient minéralisées et par les mêmes métaux. Or il n'en est pas ainsi. Il y a des points bien déterminés de la surface du globe, d'où proviennent des métaux déterminés depuis un temps immémorial.

Le Platine s'est concentré dans l'Oural qui possède à l'heure actuelle le seul gisement important.

De même le Mercure ne provient que de 3 ou 4 centres d'une étendue fort limitée : Almaden (Espagne), Idria (Carniole), la Californie, la Toscane et de quelques petites mines du Donetz, du Pérou et de la Chine. Parmi ces régions, Almaden est tout particulièrement privilégié, puisqu'il a fourni à peu près le 1/4 de tout le mercure consommé

L'or en Afrique du Sud est concentré dans une toute petite zône de 3 kilom. sur 20, qui contient 20 à 25 milliards d'or.

L'Etain provient des détroits (Malacca, etc.) depuis la plus haute antiquité.

Le Plomb fait l'objet d'exploitations en des points très localisés, comme Léadville (Colorado), Linarès (Espagne), etc.

L'Argent provient du Mexique, du Colorado, de la Sierra Nevada.

Il est donc certain qu'il y a eu à l'origine une concentration des métaux en certains points priviligiés

Composition moyenne de l'écorce terrestre.— On ne connait qu'une mince pellicule superficielle d'une vingtaine de kilomètres au maximum alors que la terre a 6400 kilom. de rayon. La composition moyenne semble être la même partout. Une commission américaine a essayé de déterminer cette composition moyenne en prenant la moyenne d'un très grand nombre d'analyses exécutées en tous les points du globe. Ces moyennes groupées en 2

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ou 3 stocks ont donné des résultats sensiblement identiques, à la 3e décimale près. On peut donc comparer ce travail à l'analyse d'une prise d'essai bien faite. On a trouvé :

SiO^2	60 %	} soient les 3/4
Al^2O^3	15,5	
Fe^2O^3	2.7	
FeO	3,4	
CaO	4,8	
MgO	4,4	
Na^2O	3,6	
K^2O	2,8	
H^2O persistant à 100°	1,0	

La zône superficielle est donc constituée par un silicate d'alumine avec quelques alcalis et alcalino-terreux. Les autres éléments forment à peine 1 %.

L'analyse rapportée aux éléments simples est :

O	47,1
Si	27,9
Al	8,1
Fe	4,7
Ca	3,5
Na	2,7
Mg	2.6
K	2,4

Le titane est particulièrement constant: on le trouve en proportion de 3‰; le Phospore, de 1‰, le Carbone 1‰, les éléments les plus importants sont ensuite Mn, Ba, Cr, Zr et Ni. Les métaux entrent pour des proportions infimes entre 0,005 et 0,0001 %, comme Sn, Co, As ....

Les autres métaux Pb, Zn, Cu ... ne sont plus dosables.

On observe que les éléments les plus rares sont les éléments les plus lourds. La raison est que ceux-ci doivent se trouver en profondeur. En effet la densité de la terre, déterminée par de nombreuses méthodes concordantes, est de 5,56. Or la densité de l'eau de mer est voisine de 1; celle des continents de 2,5. Il faut donc nécessairement que la masse interne soit très dense. L'atmosphère est constituée par de l'oxygène et de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

l'azote, avec une petite quantité d'acide carbonique et d'argon, et des traces d'hydrogène, de néon, de xénon, de Krypton, d'hélium. Donc la scorification des éléments superficiels est faite essentiellement en milieu oxydant.

La haute atmosphère diffère notablement de l'atmosphère voisine de la terre ; diverses théories physiques ont démontré l'existence d'une nappe supérieure d'hydrogène qui provient probablement de dégagements pendant des oxydations en milieu humide.

Il existe en définitive les zônes suivantes :

Zône de la haute atmosphère _____ H
Zône de l'atmosphère _____ O Az
Zône de l'écorce silicatée _____ Si Al Ca Mg Na
Zône de segrégation basique _____ Fe Cr Ti Va
Zône des métaux _____ Pb, Zn

Les éléments minéralisateurs, Cl et S, se trouvent accidentellement à la surface de la zône, mais ils proviennent toujours de la profondeur (dans les minerais profonds ou les laves), ils doivent donc être placés dans la zône des segrégations basiques.

On peut constater que les éléments ainsi classés le sont aussi dans l'ordre des poids atomiques croissants. On peut en induire que les métaux profonds le sont aussi. Un métal est donc d'autant plus profond et d'autant plus rare que son poids atomique est plus élevé : c'est particulièrement le cas de Au, Pt, Ra. D'autre part plus un métal a un poids atomique élevé et moins il décèle d'affinités chimiques ; il a donc eu d'autant moins de chance d'être transporté à la surface par des éléments minéralisateurs. Cette raison s'ajoute à la première.

La succession des phénomènes métallogéniques serait donc la suivante :

1° Classification des éléments,
2° Combinaison avec les éléments voisins,
3° Scorification à la surface.
4° Phénomènes géologiques sédimentaires, éruptifs ou tectoniques.

La distribution des minerais à la surface de la terre obéit à certaines lois qui montrent la relation de ces minerais avec la tectonique et la pétrographie. Il en résulte des provinces minéralogiques dont les types régionaux sont comparables entre eux. Les phénomènes d'érosion contribuent à mettre à nu les couches profondes de l'écorce. C'est donc dans ces régions de très anciennes consolidations, telles que la Sibérie, la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Scandinavie, le Canada, l'Afrique que l'on trouvera les gîtes profonds de ségrégation et d'imprégnation diffuse.

Dans les pays à plissements permiens, comme le Plateau Central, la Bretagne la Meseta ibérique, se trouveront les gîtes filoniens du type Pb ou Sn. Dans les pays à plissements tertiaires (Colorado, Mexique, Sierra Nevada, Hongrie, Japon, Mexique, Arménie), se trouve la zône à grands filons argentifères et aurifères.

Enfin dans les pays à plissements récents se trouvent des filons très dispersés, souvent inconstants et donnant lieu à beaucoup de déception (Pyrénées, Alpes, Caucase, Turquie d'Asie).

Moyen d'étude par comparaison avec les phénomènes actuels.— Parmi les phénomènes actuels, on peut se rapporter aux phénomènes de profondeur ou à ceux de surface.

Les phénomènes de profondeur sont peu nombreux. Ils consistent surtout dans les réactions volcaniques et nous n'en connaissons guère que l'apparence superficielle. Le mécanisme des phénomènes comprend l'ouverture d'une fracture dans l'écorce préexistante. De cet évent, dont la forme est en général circulaire, sortent des laves pulvérisées, qui élèvent un cratère, et des coulées qui donnent naissance à des dykes.

Les laves ne forment pas à proprement parler de gîtes métallifères; elles sont exemptes de produits métalliques à l'exception d'un peu d'oligiste, de traces de cuivre et de plomb. Cependant, lorsqu'on examine ces roches volcaniques, on constate qu'il s'en dégage des fumerolles, variables suivant les différentes phases de l'éruption et dont la nature dépend de la température. A haute température on constate que les fumerolles de toute nature se dégagent, à mesure que la température baisse, certaines d'entre elles disparaissent. La vapeur d'eau joue, dans tout le phénomène, un rôle constant. On a prétendu que la vapeur d'eau provenait des infiltrations superficielles et que, par suite, son rôle pouvait être tenu pour négligeable, mais cette théorie est en désaccord avec l'ensemble des faits. M. A. Gautier a montré en effet que, même dans les roches de grande profondeur, on observe toujours la présence de l'eau. Il n'importe guère, pour notre sujet, de connaître l'origine de cette eau, soit qu'elle voie le jour pour la première fois, (eau "juvénile"), soit qu'au contraire elle ait été amenée aux grandes profondeurs par des infiltrations de la surface.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les éléments se dégagent dans un ordre déterminé.

A haute température et jusque près de 1000° les chlorures dominent: chlorures alcalins anhydres avec fluorures jusque vers 500°, puis chlorure d'ammonium avec proportion croissante d'hydrogène sulfuré jusque vers 200°. Le refroidissement augmentant, les chlorures s'éliminent peu à peu et les sulfures prennent plus d'importance. Finalement l'hydrogène sulfuré disparaît, les hydrocarbures deviennent abondants, et le dégagement de CO^2 qui les accompagne subsiste seul pendant très longtemps. Il existe donc 3 grands stades dans l'activité des dégagements de fumerolles correspondant à la genèse des chlorures, des sulfures et des carbures.

Cette répartition se retrouve dans les gisements métallifères. En profondeur, au voisinage des roches originelles, se trouvent les métaux nécessitant l'intervention du chlore (Etain), plus haut (ou plus loin de la roche mère) les gisements supposant l'intervention du soufre (plomb, zinc, fer, etc..), enfin les gisements carbonatés.

Les deux termes extrêmes de la série métallifère sont représentés d'une part par l'étain en relation très directe avec les roches cristallines et généralement associé aux roches acides (granulite, rhyolite, dacite, etc...), d'autre part par le mercure, arrivé à l'état de sulfure, soluble dans l'eau à peine tiède. Ce sulfure a été entraîné en dissolution très loin de son point de production, puis il a précipité dans les fissures très minces ou sous l'action d'hydrocarbures. Ces considérations sont bien conformes à l'expérience puisque le mercure est le seul métal qui soit apporté aujourd'hui par les eaux thermales.

Dans la Transbaïkalie, par exemple, où la température moyenne est de 4°, une source à 4° sera une source thermale, tandis qu'au Sahara, où la température moyenne est de 20°, une source ne sera thermale que si sa température est supérieure à ce chiffre.

Outre leur température, les sources thermales sont caractérisées par la façon dont l'eau sort : - l'eau arrive par un mouvement ascensionnel à l'orifice d'une fracture indépendante des terrains encaissants. La théorie de ce fait est la suivante :

Imaginons un terrain à profil quelconque (fig. 2) et supposons qu'en un point A on fasse un puits. Très généralement, dans ce puits, on rencontre de l'eau. Ce fait ne supporte d'exception que dans le cas où le puits est creusé

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

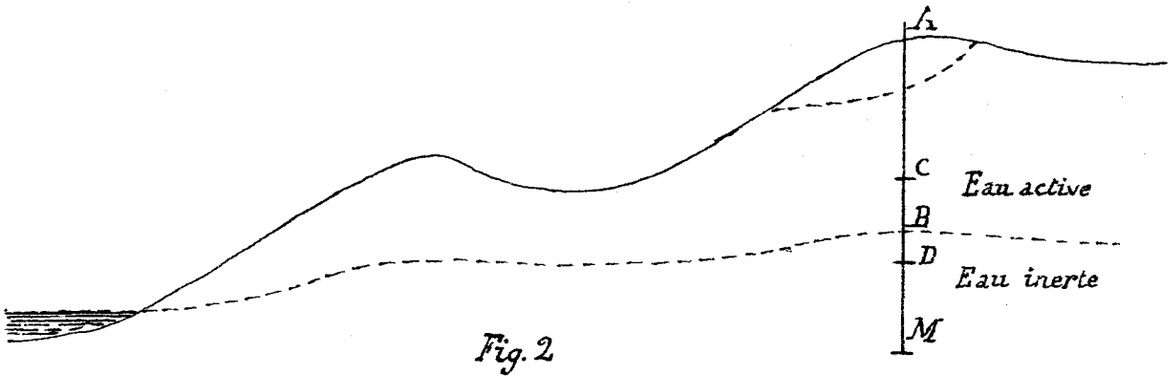


Fig. 2

dans un massif élevé constitué par un terrain très perméable (tel est, par exemple le cas des gisements aurifères du Witwatersrand).

Eaux thermales. — Le phénomène des eaux thermales équivaut aux phénomènes filoniens anciens. Mais, dans les sources actuelles, on voit les produits dissolvants, tandis que dans les phénomènes anciens le produit dissous nous est seul accessible.

Les eaux thermales sont pour la plupart des eaux qui remontent à la surface, échauffées et minéralisées.

Cependant il n'est possible de les définir ni par leur température ni par leur minéralisation. Au point de vue médical on distingue :

1° les eaux chaudes et non minéralisées,

2° les eaux froides et non minéralisées,

3° les eaux chaudes et minéralisées.

Nous ne nous occuperons que des eaux chaudes et nous définirons les sources thermales comme des eaux apparaissant à une température supérieure à la température moyenne du lieu. Le phénomène sur lequel est basée cette définition est donc essentiellement relatif.

Soit B le point où l'on rencontre l'eau, point d'ailleurs variable de C en D suivant les conditions. Il peut arriver que, lors du creusement, on ne rencontre l'eau que beaucoup plus bas, en M par exemple ; mais dès que le point M est atteint, l'eau remonte en B. Cette circonstance est dûe à la pression de l'eau.

Le lieu du point B constitue la surface hydrostatique. En dessous de cette surface les fissures sont aquifères et les eaux sont sensiblement permanentes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

S'il n'y avait pas de précipitation atmosphérique la surface hydrostatique deviendrait, au bout d'un temps suffisamment long, une surface plane coïncidant avec le plan de la mer.

Au-dessus du niveau hydrostatique les eaux sont renouvelées, on les désigne sous le nom d'eaux actives. En dessous, les eaux permanentes sont dites eaux inertes. Cette inertie est dûe à l'épuration en O et CO^2 qui s'accomplit constamment. Les eaux au-dessus de la surface hydrostatique peuvent former une source ordinaire, une eau permanente au contraire ne peut donner lieu au même phénomène.

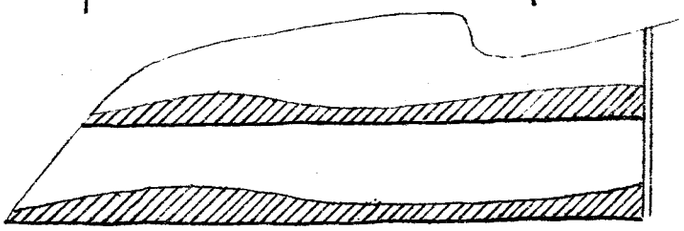


Fig. 3

Lorsqu'on a des alternances de couches perméables et imperméables, chaque surface imperméable constitue une surface hydrostatique adventive (fig. 3)

Supposons le cas d'un massif de terrains calcaires fissurés. Il se produit une individualisation des filets d'eau, certains filets devraient, si l'eau n'était emprisonnée, la faire remonter. Finalement on aura, en un point déterminé de la surface une source caractérisée par ce fait que l'eau vient de points quelquefois situés bien en dessous du niveau hydrostatique et sort sous pression. C'est le cas de la Source Vauclusienne résultant d'un mouvement localisé, sous la surface hydrostatique (fig. 4).

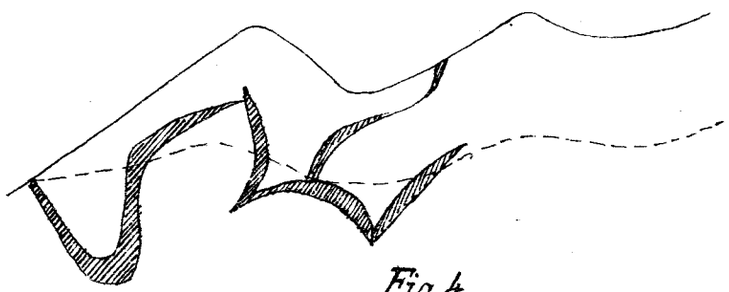


Fig. 4

Si le circuit souterrain a été peu prolongé la température des eaux ne dépasse pas la température moyenne du lieu; comme minéralisation elles ne contiennent guère que de la chaux.

On peut, en somme, comparer la source Vauclusienne à un tuyau coudé enfoncé dans le sol et affleurant en deux points de la surface. Si on suppose qu'entre ces deux points le tuyau s'enfonce profondément dans la terre, l'eau sortira à une température élevée, par suite du degré géothermique. Ce fait est réalisé dans les cassures géotectoniques, filons ou failles. La remontée de la source se fait toujours par une faille formant une sorte de tuyau conducteur et l'eau arrive jusqu'au jour si la pression est suffisante.

Si la durée des phénomènes était indéfinie, il s'établirait un équilibre; mais, en

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

hydraulique, la largeur des orifices intervient dans la loi des écoulements, en sorte que l'eau, arrivée peu à peu à la base du réseau de cassures par une voie assez compliquée, remonte brusquement dans la faille. On peut, par suite, augmenter momentanément, par des travaux appropriés, la quantité d'eau qui sort, sans inconvénients pour la source.

L'explication qui précède, dite artésienne, est incontestable dans une foule de circonstances, dans le cas, par exemple, des grandes sources des Alpes et des Pyrénées, comme en témoigne la variation de débit avec la précipitation atmosphérique. Mais il existe des cas où l'explication paraît moins admissible; on peut alors avoir recours à l'hypothèse du Volcanisme. L'eau dégagée arrive alors en partie de la profondeur et les sources en relation avec le volcan donnent vraisemblablement de l'eau juvénile; mais dans la généralité des cas l'eau artésienne reste la règle. Toutefois la seconde explication doit être retenue au sujet de la formation des gîtes. Elle s'applique au cas actuel des geysers d'Islande, de la Nouvelle-Zélande et de la Californie; mais l'ampleur des phénomènes actuels est incomparablement plus réduite que celle des phénomènes anciens. Dans la région de Freiberg par exemple, on a reconnu 1600 ou 1700 filons et des fractures en nombre incalculable, incrustés de parties métalliques. Il y aurait donc eu originellement une série énorme de fractures avec des sources chaudes un peu partout. En Amérique on connaît des fractures de 100 kilomètres accompagnées, sur toute leur longueur, d'apparition d'eau chaude.

On a voulu retrouver toute la série des éléments chimiques dans les eaux thermales actuelles. La réussite de cette tentative n'aurait rien de bien surprenant, car les eaux thermales, lessivant constamment les roches peuvent entraîner une foule de corps en dissolution. Quoiqu'il en soit, le nombre des éléments en proportion un peu sensible est très restreint. On peut citer les carbonates de chaux et de magnésie, les alcalis, la silice, la baryte, le groupe du fer et du manganèse; en outre le mercure est fréquent; quant au cuivre et au plomb on n'en a retrouvé que des traces, d'ailleurs assez discutables.

La différence entre les phénomènes actuels et anciens est, en réalité, plus considérable qu'on semble l'avoir cru. Ce que nous voyons ne donne probablement qu'une faible idée de ce qui se passe en profondeur; l'eau qui arrive au jour peut n'être qu'une eau tout à fait appauvrie.

De plus, toutes les périodes géologiques n'ont pas présenté une égale intensité. Il est bien probable que les époques de superintensité et de calme se succèdent, comme se

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

succèdent les phases d'une éruption volcanique. Il semble que nous soyons aujourd'hui dans une période de calme alors que les périodes permo-triasique ou oligocène étaient des périodes de paroxysme.

Phénomènes extérieurs à température ordinaire.

Ce sont des phénomènes d'ordre purement chimique, aboutissant à la concentration de certains métaux, sans transport (altération sur place, métasomatose) ou avec transport. Il peut même y avoir eu remaniement et préparation mécanique (alluvions, placers).

Altération sur place. — Les gîtes métallifères ne sont jamais tels qu'ils se sont constitués; des phénomènes ultérieurs se sont produits dont l'intensité est en rapport avec la distance à la surface. Dans un filon sulfuré affleurant au jour, par exemple, les eaux produiront à la partie supérieure des phénomènes d'oxydation (développement de calamines; de minerais enrichis en or, en argent, en cuivre, en manganèse), alors qu'en profondeur, cette action sera nulle (voir plus loin).

Dissolution avec transport.

Gîtes salins. — L'eau trouve toujours sur son passage de petites quantités de chlorure de sodium, de chlorure de potassium, des sulfates, des nitrates et d'autres éléments solubles. Ceux-ci sont ainsi entraînés dans des rivières qui se jettent dans la mer, dont la salure doit augmenter constamment.

Quelquefois les eaux arrivent dans un bassin fermé. Il se produit alors une évaporation.

Lorsqu'on évapore l'eau de mer on n'observe tout d'abord aucun dépôt. Puis le carbonate de calcium et l'oxyde de fer précipitent. Quand la hauteur d'eau est réduite au 1/10 de sa valeur primitive, le sulfate de calcium précipite; il se produit alors un temps d'arrêt, jusqu'à ce que le niveau se soit considérablement abaissé. Ensuite se déposent successivement le chlorure de sodium et le chlorure de potassium. Dès lors le dépôt se charge de produits magnésiens et finalement on a de l'eau-mère chargée de sels de magnésie.

La même succession s'observe dans les dépôts géologiques. On a

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

parfois des gisements de SO_4Ca seul, d'autres fois on a en même temps SO_4Ca et $NaCl$. Le chlorure de potassium, qui suppose une évaporation plus intense, est plus rare. En réalité l'eau de mer contient une foule de sels et les précipitations et réactions s'effectuent conformément aux lois mises en évidence par Van T'Hoff.

L'épaisseur des gisements de chlorure de sodium peut atteindre 1000 mètres. Or 1 mètre d'eau donne 1 centimètre de sel. Les 1000 mètres correspondraient donc à 100.000 mètres d'eau de mer. On verra plus loin les théories proposées pour ces phénomènes.

Phénomènes mécaniques. — Ces phénomènes naturels ont une action identique à celle des préparations mécaniques industrielles. La concentration du platine, de l'or, de la magnétite peut à la longue constituer de véritables gisements.

Les lois qui régissent ces phénomènes sont au nombre de deux:

1°) Il y a concentration des éléments lourds (éléments métalliques) sur le Bed. rock.

2°) Les éléments métalliques sont toujours très voisins de leur point de départ.

On y reviendra en décrivant les gisements détritiques.

Synthèses.

Les expériences de synthèse artificielle des minéraux n'ont de portée au point de vue de la géologie appliquée que lorsque les minéraux sont reproduits avec toutes les formes qu'ils présentent dans la nature et lorsque les procédés employés dans le Laboratoire sont analogues à ceux qui ont dû agir réellement. De plus, dans le Laboratoire, on est amené à utiliser des catalyseurs pour gagner du temps.

Les synthèses peuvent se faire à l'état solide, liquide ou gazeux; de plus elles peuvent avoir lieu avec l'aide ou sans l'aide d'une réaction chimique.

Synthèse à l'état solide <u>sans réaction chimique</u>. — Soufre

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Acide arsénieux.

Avec réaction chimique.

Synthèse à l'état fondu:

a) Sans réaction chimique et sans dissolvant : Soufre, Bismuth, Stibine [1], Péridot, Augite, Néphéline, Leucite :

b) Sans réaction chimique mais avec un dissolvant : Ce dissolvant peut être le chlorure de sodium ou le chlorure de potassium (Syntèse de l'Apatite) qui a pu agir effectivement dans la nature et jouer un rôle analogue à la cryolite et à d'autres fondants dans la métallurgie pour donner de la mobilité au bain — ou la fonte (synthèse du graphite et peut-être du diamant).

c) Avec réaction chimique : La plupart des synthèses d'Hautefeuille rentrent dans ce type (Orthose, Albite, Quartz). L'emploi qui y est fait de vanadanates et de tungstates n'a aucun rapport avec les procédés naturels.

Synthèse à l'état gazeux:

a) Sans réaction chimique : dans un courant d'azote : acide arsénieux, cinabre, réalgar, calomel.

b) Avec réaction chimique : On a réalisé ainsi la synthèse de l'oligiste analogue à celui des bombes volcaniques, de la cassitérite (par action de $SnFl_2$ ou $SnCl_2$ sur H_2O), analogue à celle des filons d'Etain, de divers sulfures métalliques. Mais dans ce cas, on obtient souvent des formes, rares dans la nature, comme la Wurtzite, au lieu de la Blende, cristallisée par voie hydrothermale. De même l'argent sulfuré se produit tous les jours par réactions secondaires dans les gisements d'argent.

Synthèse par dissolution.

a) A la pression ordinaire et par évaporation. (Cas du chlorure de potassium, du chlorure de sodium, du gypse, des borates, du carbonate de sodium, etc.)

b) Par précipitation, au moyen de semis dans une dissolution sursaturée. Ce cas a pu se produire et jouer un rôle dans certains filons métallifères où tous les minéraux semblent s'être pris en masse, avoir cristallisé ensemble et appartenir à une même phase.

---

(1) La stibine obtenue par ce procédé n'est pas la même que celle qu'on trouve dans les gisements miniers.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

c) Par variation de température modifiant la solubilité. – Ce cas a dû être fréquent dans les filons métallifères ; il a été surtout invoqué dans les hypothèses anciennes.

d) Par endosmose, dialyse. – C'est un phénomène de remise en mouvement de la matière, évident dans le cas de fossilation par de la silice, de la pyrite, de la calcite, du sulfate de Baryum, des phosphates, etc... Dans beaucoup d'anciennes mines, des sulfures se sont souvent reprécipités sur les bois par suite d'une action à la fois chimique et capillaire. On a reproduit par ce procédé la fluorine ($CaFl_2$) la barytine (SO_4Ba) etc.

e) Par l'action de courants électriques faibles. – Becquerel a montré la réalité de ce phénomène. Il a joué probablement un rôle, mal défini encore, dans la formation des gîtes métallifères. On peut s'imaginer de grandes fractures, remplies de substances en dissolution où des courants électriques ont dû se produire et déterminer la cristallisation.

f) Par l'action de l'eau pure ou faiblement chargée de carbonates alcalins à haute pression. – de Sénarmont, Daubrée, Friedel ont réalisé de nombreuses synthèses, par ce procédé dans les sous-sols de l'E.M.P. Elles sont fort intéressantes, car Friedel a pu produire à la fois du quartz et l'orthose, donc réaliser une véritable pegmatite, avec les minéraux, du groupe stannifère, qui lui sont généralement associés.

En résumé, les synthèses minéralogiques surtout intéressantes pour nous, sont celles obtenues :

1) par réaction et par voie ignée ; elles expliquent les phénomènes de ségrégation.

2) par fusion et refroidissement.

3) par fusion et par voie chimique, surtout faciles quand on fait intervenir des chlorures et des fluorures (groupe de l'Etain).

4) par l'action de l'hydrogène sulfuré sur les chlorures, ou par modifications de la température des sulfures (synthèse des sulfures métalliques).

La voie hydrothermale permet seule de réaliser ensemble certains minéraux, par exemple le cuivre natif ou l'argent natif et la calcite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gites d'inclusions.

Ce sont les gites où un minéral utile s'est formé dans les mêmes conditions que les minéraux constituants de la roche. Leur formation résulte donc des phénomènes qui ont présidé à la formation de la roche, c'est-à-dire d'une action ignée, se produisant à une profondeur assez notable. Ces gites se différencient à cet égard des gites de surface, comme ceux de cinabre (Hg_2S). Par suite, ils se rencontrent, soit dans des zônes restées en profondeur, depuis l'origine, soit dans des zônes ayant subi un retour en profondeur. Naturellement, depuis lors, ces zônes ont été ramenées à la surface, par des mouvements postérieurs.

Ces gites se trouvent :

A) <u>dans des roches basiques</u>. Ils y sont très frequents, ces roches peuvent être considérées, comme une sorte de fonds de creuset.

B) <u>dans des roches acides</u>. Ils y sont plus rares ; car ces roches sont une sorte d'écume superficielle où il y a eu départ des minéraux et où par suite il s'est moins produit d'inclusions.

A.- Roches basiques. — Gisements non concentrés.

Beaucoup de métaux sont disséminés dans les roches d'une façon courante ; cela a été mis en évidence grâce aux nombreuses analyses faites autrefois pour étayer la théorie de la secrétion latérale ; elles ont montré que beaucoup de roches contenaient des traces de métaux ; ces traces sont d'ailleurs faibles ; les résultats ne sont pas constants ; ils sont parfois douteux ; ceux de Sandberger, par exemple, n'ont pu être vérifiés.

On pense ainsi que les roches contiennent :

Chrome 0,01 % soit 50 grammes par mètre cube,

Nickel 0.05 % soit 100 ____ d: ____

Quoique faible, cette quantité est notable, si par suite de remaniements ultérieurs, elle est concentrée sur un même point.

De même :

Cuivre (Chalcopyrite) 0,005 % soit 10 gr. par mètre cube. Cette très faible teneur correspond cependant par kilomètre cube à 10 000 tonnes de minerai, qui, mis en liberté et concentrés en un point, constitueraient un gisement appréciable.

Platine. — Il se trouve dans ces conditions en inclusions dans la roche ;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

préparé mécaniquement par la nature, il se retrouve en alluvions où, malgré sa faible teneur et à cause de sa grande valeur, il est exploitable.

Péridotites nickelifères de Nouvelle-Calédonie

On n'exploite pas les gisements en place (Enstatite, Péridot avec 1 kilog. à la tonne de Nickel et Cobalt, 1 à 2 kg. à la tonne de fer chromé). On exploite les gisements superficiels qui résultent d'un remaniement et d'un enrichissement naturel. La magnésie a été éliminée, par contre, les sels de cobalt et de nickel se sont concentrés et il y a eu formation d'hydrosilicates (Garniérite, etc.) Ce cas rentre dans celui de la sécrétion latérale, par réactions superficielles, mais en s'appliquant à des roches spécialement métallifères.

Magnétite, fer chromé, chalcopyrite. — Ils sont rarement utilisables sous leur forme originelle d'inclusions; mais ils le sont quelquefois à la suite de remaniement.

Diamant. — Il a cristallisé dans toute la masse d'une roche basique (Péridotite, Kimberlite). On le sépare mécaniquement de la roche à cause de sa haute valeur.

B. — **Roches acides.** — Les gites d'inclusions y sont rares.

Etain. — L'étain est disséminé dans certaines roches. On ne l'exploite que dans celles qui sont décomposées et qui fournissent le kaolin; l'Etain étant alors nuisible, on l'enlève bien qu'il soit en très petite quantité et on le vend; c'est alors un véritable sous-produit du kaolin.

La teneur en cassitérite peut atteindre 0,5 %.

Elle peut dépasser ce chiffre dans certains gites éluviaux, c'est-à-dire de remaniement sur place, par exemple en Tasmanie (Mount Bischof) où un des gites originels de l'Etain est un gite d'inclusion.

L'Etain est d'ailleurs très fréquent dans les roches. Stelzner a étudié des gneiss de la région de Freiberg et a reconnu, à l'intérieur des Feldspaths (orthose, oligoclase, etc.) des grains de cassitérite (teneur 0,03 %).

Enfin la cassitérite se trouve dans certains minéraux sulfurés; elle est souvent visible au microscope dans les blendes de Freiberg et d'une façon générale dans les blendes géologiquement anciennes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Or. — Il est fréquent dans les roches. On peut souvent se demander s'il s'y trouve originellement ou s'il a été introduit après coup. La première hypothèse est certainement vraie dans beaucoup de cas, en particulier dans le cas de certaines granulites. Ce phénomène prend une grande importance dans les roches gneissifiées ou les magmas hydrothermaux ont pu apporter l'or en même temps qu'ils produisaient la feldspathisation. Il y a des régions où ce phénomène s'est produit sur de grandes surfaces; les roches elles-mêmes ne sont pas exploitables, mais à la suite de leur altération chimique, puis de leur préparation mécanique, il y a eu, sur des continents entiers, concentration de l'or, qui devient ainsi exploitable, alors que le gisement originel n'a pas de valeur.

Gites de segrégation.

La segrégation ou différenciation, etc. peut porter sur des minéraux utiles ou sur des minéraux qui ne le sont pas. C'est une opération purement ignée, analogue à celles de la métallurgie, produisant une différenciation par liquation, sous un couvercle imperméable, d'un magma. Elle s'entend généralement d'une opération, faite sans concours d'éléments volatils; mais il faut l'étendre à celles produites avec l'action restreinte de certains d'entre eux, en particulier de la vapeur d'eau.

Il y a des segrégations de magmas basiques et plus rarement de magmas acides.

Dans une roche, contenant des minéraux distribués d'une façon homogène, certains éléments chimiques tendent à se grouper progressivement d'un côté, certains d'un autre. On peut considérer, par exemple, un silicate basique dissous dans un silicate alcalin la différenciation aboutit peu à peu d'une part à des péridots (silicates magnésiens), d'autre part à des feldspaths anorthose, labrador (silicate alumino-calcique). C'est-à-dire d'une part à des roches comme les péridotites, d'autre part à des labradorites, etc. Ce phénomène ne se produit d'ailleurs pas immédiatement; il peut subsister des plagioclases à côté des péridots. On a alors d'une part des gabbros à olivine et pyroxènes rhombiques à côté des plagioclases, d'autre part des gabbros à enstatite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En même temps que les péridots se différencient des minerais de Cr, Pt Ni, Co ; en même temps que le labrador, ceux de Fe, Ti.

De ce processus, résulte, la formation de divers gites utilisables.

A. — Roches basiques. —

Fer titané. — Les labradorites peuvent contenir des ilménites avec 45 % de TiO_2. Il en résulte des minerais utilisables formant des boules métalliques. A Taberg, en Suède, par exemple, on trouve des hyperites à olivine, au centre desquelles se sont isolées des péridotites avec de la magnétite titanifère et quelquefois du vanadium, du phosphore. — Les segrégations titano-magnétifères sont fréquentes dans cette région ; elles sont souvent colossales (Routivara, Laponie suédoise), mais difficilement exploitables à cause de la présence du Titane ; la roche qui les contient est un gabbro ou une diorite, avec des spinelles, etc.

Des gisements analogues sont connus dans l'Etat de New-York.

Fer chromé. — Les seuls gisements exploités de chrome sont précisément des gites de segrégation. Dans les péridotites passant à des dunites, on trouve toutes les grandeurs d'inclusions, depuis la grosseur du poing jusqu'à 50 ou 60 mètres de diamètre.

Nickel. — Il peut exister à l'état d'inclusions ; mais généralement, il s'est concentré à la périphérie des roches, de sorte que ces gisements sont presque des gites de départ immédiat.

On peut citer les gisements de pyrrhotines (pyrites nickelifères, quelquefois un peu cuprifères), de Scandinavie, du Canada.

Ce sont des termes de passages vers les gites de départ ou de segrégation périphériques.

B. — Roches acides.

Au milieu des syénites et des porphyres, on trouve parfois des amas de minerais de fer, contenant en abondance un phosphate, l'apatite, qui prouve l'intervention des fluorures et des chlorures volatils, c'est-à-dire qu'à la segrégation s'ajoutent des phénomènes de pneumatolyse. Malgré cela, ce sont encore de véritables gites de segrégation, des boules métalliques localisées à l'intérieur d'une roche ; on peut citer à cet égard les minerais de Kirunuvara (Laponie suédoise), intercalés dans une syénite, divers gisements de l'Oural et de la Sibérie.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gites de départ immédiat ou de segrégation périphérique

D'une façon générale, ils se trouvent surtout sur les plates-formes primitives Canada, Afrique du Sud, Inde.

Ils y forment par exemple en Norvège des amas sur la phériphérie des massifs de gabbros avec une couronne de sulfures métalliques (Fer, Cuivre).

De même à Sudbury (Canada), la concentration des sulfures nickélifères (pyrrhotine, etc.) s'est produite sur la périphérie d'un magma basique.

De tels amas se produisent quand la croûte est inerte chimiquement (schistes).

Gisements au contact des calcaires du type Banat.-

Mais, quand au lieu de schistes, la croûte est constituée par des calcaires, le gite prend une allure spéciale. Par suite de l'action sur le calcaire, il y a métamorphisme de celui-ci et formation de grenats, de pyroxènes, d'épidotes, de spinelles formant une gangue spéciale (Scalon) qui accompagne les minerais de fer (magnétite) et les sulfures métalliques. Le gite le plus typique est celui du Banat (Serbie) où des concentrations métallifères se sont produites le long du contact des calcaires jurassiques avec les syénites (banatites). Il en est de même dans l'Ouest des Etats-Unis (Arizona, Sonora, etc.) dans le Nord du Mexique

Dans ces gisements, il est nécessaire de faire intervenir un apport de sulfures métalliques, de chlorure ou sulfure de fer notamment ; il n'y pas eu simplement cristallisation du fer contenu dans les calcaires ; ceux ci n'en contiennent pas assez. On est à la limite des gites de départ et des gites de segrégation. Le rôle des fumerolles est important ; il faut admettre l'arrivée de vapeurs métallisantes le long de certaines fractures.

Gites d'imprégnations diffuses.

Ces gites sont surtout importants dans les régions géologiquement anciennes où le métamorphisme régional est très accentué : Sibérie, Scandinavie, Afrique du Sud, Brésil, Inde, Canada. Quand ils sont très développés ils jouent

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

un grand rôle industriel.

Parfois, on a affaire à de nombreuses veines pyriteuses, injectant tous les feuillets, tous les plis d'un schiste ou d'un gneiss. Elles peuvent affecter certaines zônes de broyage souvent cimentées par de la pyrite et des hydrocarbures, au passage desquelles on constate souvent l'enrichissement des filons qui les traversent, d'où le nom de Falbandes (Fal : heureux).

On trouve souvent aussi au milieu des schistes, de véritables boules; on arrive ainsi aux amas pyriteux, analogues aux amas granitiques, ayant rempli des baillements de la roche, qui pouvaient d'ailleurs s'ouvrir progressivement devant lui. Ce sont d'énormes boules sans racines profondes, qui ne sont certainement pas d'origine sédimentaire; celle du Rio Tinto (1 kil. de longueur) peut servir de type. Au point de vue pratique ces boules contiennent de la pyrite de fer, du cuivre, du nickel.

Gisements hydrothermaux.

Ils ont été longtemps considérés comme les seuls parce qu'ils sont presqu'exclusivement représentés dans les zônes où ont été faites les premières études (Allemagne, France, Angleterre). Depuis que les recherches se sont étendues à d'autres pays, d'autres types de gisements ont été découverts (Scandinavie, Amérique du Nord). C'est cependant encore celui qui nous intéresse le plus parce qu'il se rencontre presqu'exclusivement dans l'Europe Centrale, en France, en Espagne, dans l'Afrique du Nord.

Un vide de forme quelconque dans l'écorce terrestre a pu être incrusté par des matières minérales arrivées en dissolution aqueuse et dont quelques unes se trouvent nous être utiles. Les gites hydrothermaux ne comprennent pas seulement des filons, mais le remplissage de n'importe quelle fissure.

Leur étude comprend :

A. _ Etude de la fracture,

B. _ Etude de son mode de remplissage.

A. _ Etude de la fracture.

Fractures filoniennes. — Ce sont les plus fréquentes;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

les fractures tectoniques, les failles ont joué un grand rôle dans les formations métallifères; elles sont, en effet, en relation possible avec la zone interne ce qui facilite l'arrivée des matériaux d'origine profonde. De plus, elles mettent en contact deux terrains de nature différente ce qui en fait un chemin plus facile à suivre pour les eaux qu'elles viennent d'en haut ou d'en bas.

Ces fractures ont été remplies, dans certains cas, par des filons métallifères, appartenant à plusieurs époques; on a beaucoup insisté autrefois sur ce fait et en Saxe, on a cru pouvoir retrouver sur un même plan des remplissages d'âge très divers. Le fait n'est pas général quoique vrai dans certains cas: ainsi les sources thermales jaillissent actuellement dans des fractures réouvertes, déja remplies souvent à l'époque permienne.

On peut aussi songer aux plis; mais ceux-ci jouent, au point de vue des gisements métallifères, un rôle beaucoup moins grand que les failles; ils constituent, en effet, des zones comprimées se prêtant mal à la montée des roches éruptives et des éléments métallisants.

Aussi les grandes fractures métallifères sont-elles localisées sur la périphérie des zônes de plissements et en relation avec les grands mouvements verticaux, connexes de ces plissements.

Ces fractures filoniennes peuvent avoir des dimensions très variables. Une des plus longues est celle occupée par le "Mother Lode" de Californie (112 kil.); on peut citer aussi les grands filons quartzeux du Massif Central français connus sur 50-60 kil. (celui d'Evaux est en relation avec les veines aurifères exploitées au Chatelet, Creuse). La largeur est très variable aussi; elle peut atteindre 40 à 50 m.; en général, dans ce cas, il s'agit de filons bréchiformes, remplis partiellement par des roches éboulées, où le filon métallifère est plus ou moins dispersé.

Un cas plus normal est celui des filons de 3 à 4 Km. (Comstock, Nevada, U.S.A) et surtout de 1 Km. Il est fréquent que la largeur des filons atteigne 10 m., mais certains sont aussi minces qu'une feuille de papier.

Les filons ne sont pas réguliers; ils sont souvent sinueux, il s'y produit des changements dans la minéralisation, parfois en connexion avec le changement du terrain encaissant et de la nature de la fracture. Ainsi une fracture peut être parfaitement nette dans le granité; en passant dans les schistes, elle s'éparpille en une série de veines souvent parallèles à la schistosité; en arrivant dans les calcaires, il se produit une zone de broyage, avec une série de diaclases, déterminant des blocs parallélipipédiques.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Corrélativement, on observe dans les gisements de grands changements dans la minéralisation.

Les filons peuvent modifier leur allure à la traversée de certains terrains, ils peuvent se coincer, s'élargir, se bifurquer, donner naissance à un réseau de fractures.

Les salbandes sont les zones de friction le long du filon. Le broyage des éléments filoniens donne naissance à un ciment argileux qui marque la limite du filon. Ces salbandes sont dûes à une série d'actions mécaniques produites avant, pendant et après le remplissage filonien. Avant, certains éléments ont pu tomber dans la fracture; leur présence donne au filon un aspect bréchiforme. Le même phénomène s'est souvent produit pendant le remplissage du filon qui a pu durer pendant une période assez longue; les premiers éléments quartzeux ont pu être broyés et recimentés par une 2e veine siliceuse et métallifère; celle ci à son tour a pu être redisloquée et recimentée, etc. Après le plissement, l'indice le plus net du phénomène tectonique est la tension et la cassure du filon, soit dans son ensemble, soit dans chacun de ses éléments; ainsi les cuirasses ou miroirs résultent de la friction de deux portions de filons, pyriteuses par exemple; cette friction a amené leur polissage sur toute leur hauteur, souvent sur plusieurs mètres: des mouvements ultérieurs ont pu produire des stries sur ces surfaces polies.

Les filons peuvent être limités en direction (1 Kil. à 100 Kilom); cette limitation peut se produire à la rencontre d'un terrain différent où le filon se coince et disparait, soit définitivement, soit provisoirement. Par exemple, à Sorrabus (Sardaigne) les filons, dans un grès, se heurtent à un moment donné contre un dike de microgranulite de 1 Kil. de largeur et disparaissent; de l'autre côté du dike, des recherches nouvelles ont permis de les retrouver. De même, dans le Derbyshire (Angleterre), à la rencontre des diabases qui traversent le carbonifère, les filons se coincent et disparaissent pour reparaître de l'autre côté. Aussi, dans certains pays, les mineurs considèrent certaines roches comme défavorables, la rencontre du granite par exemple; mais il ne faudrait pas généraliser, ce qui est vrai dans un pays ne l'est pas dans un autre.

Le filon se termine souvent ainsi, soit en se coinçant, soit en s'éparpillant en une série de veinules qui elles-mêmes arrivent à se coincer.

Les filons sont de même limités en profondeur. Autrefois on les considérait

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

comme indéfinis ; mais les filons se sont produits dans une zone déterminée de l'écorce ; ils ne sont pas arrivés jusqu'à la surface originelle et ils ne se continuent pas en profondeur. Cette limitation se produit d'ailleurs généralement à une profondeur telle (1 kil ou 2 km. par exemple) qu'elle n'a pas d'importance pratique et qu'on ne peut la mettre en évidence ; elle a pu cependant être relevée dans quelques cas particuliers.

Fissures locales. — Cette limitation est nette quand les métaux occupent des diaclases, fissures locales, limitées à un terrain unique, tandis que les vraies failles, d'origine tectonique, se prolongent dans plusieurs terrains. Ces fissures ont d'ailleurs peu de chance d'être minéralisées si elles ne sont pas en relation avec un accident profond dont elles sont l'épanouissement. Le phénomène est analogue à celui qui se produit pour les sources thermales, qui proviennent d'une seule grande fracture, mais qui peuvent se disperser en une multitude de sources (Teplitz en Saxe, Cestona dans les Pyrénées). De même dans le cas des matières métallifères, les gisements ont théoriquement des racines profondes, mais pratiquement chaque veine est très localisée. Cette localisation se produit surtout dans les zones éruptives ; la roche en s'y consolidant, a déterminé des fissures de retrait où les fumerolles ont donné lieu à des cristallisations ; ainsi certains gisements d'Or se trouvent dans de petites craquelures sans continuité (Colorado, Coolgardie, Hongrie, Australie, etc.) ; on peut citer aussi le district de Cobalt (Canada). Les mineurs anglais opposent ces faux-filons aux vrais filons.

Filons-couches. — Souvent une veine métallisante a suivi le contact de deux terrains en un plan de stratification dans un terrain déterminé, produisant ainsi des filons-couches. Ceux-ci sont alors localement interstratifiés et on les a considérés souvent comme dus à certains épisodes dans la sédimentation. Cette explication n'est vraie que dans des cas très rares ; en général, il s'agit de phénomènes adventifs, épigénétiques, produits après coup.

Gisements en selles, en poches. — Lorsqu'un filon-couche a été ultérieurement plissé, il se produit, suivant les axes du plissement, en particulier suivant les anticlinaux, des séries de bâillements ou de poches où le minerai est plus développé, tandis que la couche minéralisée est réduite ou nulle le long des flancs. On peut avoir ainsi sur toute la hauteur d'un axe, 7, 8, 10, etc.. poches (voir suite page 30)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

superposées l'une à l'autre. On connait des cas de poches synclinales analogues; mais elles sont moins fréquentes et moins importantes. On peut citer comme exemples: Bendigo (Or) et Broken Hill (Argent) en Australie A Bendigo, le gisement en selles accompagne des gisements différents (filons-couches, etc.) ce qui prouve bien que le gisement en selles n'est qu'un cas particulier.

Remplissage de cheminées. — Un cas typique est celui des roches diamantifères du Cap. Un autre se trouve dans le district de Cripple Creek (Colorado) où sur 300 m. de hauteur, en plein basalte, une cheminée étroite (4 à 6 m) est remplie de débris de basaltes, cimentés par du Tellurure d'Or et de la calcite.

Il en est de même en terrains calcaires: on connait dans l'Idaho (U.S.A) un gisement ayant la forme d'un tronc d'arbre avec ses branches; il est rempli de matières minérales qui ont agi sur le calcaire et l'ont métamorphisé. Ce cas a une certaine analogie avec celui de Cripple Creek, à cause de l'abondance des fluorures.

A Mapimi (Mexique), il y a dans des calcaires des cheminées métallifères, véritables abîmes (40 m. diamètre, 650 m. hauteur), remplis par des minerais.

Ces gisements forment transition aux suivants:

Gisements en chambres, en tuyaux, en grottes. — Ils se trouvent dans les calcaires et y remplissent de grandes salles, avec des ramifications, des communications par des veines étroites; la disposition est tout à fait analogue à celle des grottes.

Ces phénomènes sont en partie attribuables à des actions superficielles ultérieures. Mais dans certains cas, la perforation du calcaire parait dûe à l'action d'eaux ascendantes, chargées au contact des fumerolles d'acide carbonique, sous pression, très susceptibles par suite de dissoudre le calcaire; elles ont, ensuite ou simultanément, rempli de matières minérales le chemin ainsi creé. On peut citer comme exemples Mapimi avec ses grands puits, paraissant inaltérés, les gîtes de Plomb du Derbyshire (Angleterre), où l'on observe, dans les couches à peu près horizontales du Carbonifère, des cassures verticales, des filons-couches horizontaux, de véritables tuyaux. Certains détails du Laurium (Grèce) rentrent dans le même cas.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gites de contact hétérogène. — Cet autre type a une importance considérable. Le plan de contact de deux couches hétérogènes (schistes imperméables et calcaire perméable, etc.) est très favorable à la circulation des eaux, surtout quand les eaux peuvent s'accumuler sous pression dans l'une des couches.

Aussi un grand nombre de gisements présentent-ils une incrustation de matières métalliques suivant les contacts de ce genre; toutes les fissures utilisables dans la roche sous-jacente sont métallisées en même temps; le cas est surtout fréquent pour les gisements de zinc; il y a en même temps une disposition très favorable à la circulation des eaux superficielles qui ultérieurement ont disséminé le zinc dans les calcaires, produisant ainsi de véritables amas.

On peut citer, comme exemples, les gites de zinc du Laurium (Grèce), de la Sardaigne, de la Belgique.

On connait des gites de Plomb dans des conditions analogues. Dans les Pyrénées, en particulier près de Pierrefitte, où les minerais sont éparpillés dans des terrains très plissés, ils se trouvent principalement au contact des schistes et des porphyres; ceux-ci ayant arrêté les eaux de circulation, ils y forment des lentilles de 3 à 4 mètres.

Ce même phénomène a pu se produire le long d'un sable ou d'un grès; on pourra alors avoir une grande couche métallisée, paraissant interstratifiée. La veine métallifère cimentera tous les interstices; tel est le cas du gite de Mercure d'Almaden (Espagne) où des grès siluriens sont cimentés par de la silice de deuxième formation et par du cinabre.

Beaucoup de conglomérats et de grès plombifères ou cuprifères, pour lesquels on avait admis une origine purement sédimentaire, sont dans le même cas.

Peut-être même est-ce un phénomène analogue qui a produit les conglomérats aurifères du Transvaal où le ciment est constitué par de la silice aurifère; on peut se demander si cet or n'est pas dû à une intrusion postérieure dans les interstices d'un conglomérat primitivement stérile.

Vides creusés par les eaux elles-mêmes. — Plus on examine les filons métallifères et plus on voit que la veine métallifère s'est

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

souvent creusé un vide à côté de la roche imprégnée.

Dans le cas des calcaires, il y a eu souvent substitution par un phénomène analogue à celui de l'extension d'une tache d'huile, molécule par molécule, se produisant plus ou moins loin, en laissant certains noyaux intacts et stériles.

Le creusement a pu se produire aussi par l'action des acides (CO_2, H_2S, SO_4H_2).

B – Remplissage des fractures.

Le remplissage est-il connexe de la formation du vide ? Cela n'est pas nécessaire ; mais en général, il n'a pas dû s'écouler un grand laps de temps entre les deux phénomènes.

On peut prendre comme exemples les sources thermales : elles sont exclusivement localisées dans des régions récemment fracturées. Il faut, en effet, que la fracture reste ouverte pour que les eaux thermales ou métallisantes puissent y circuler. Il est donc très peu vraisemblable qu'une fracture reste longtemps ouverte.

On peut même se demander comment une fracture de 40 m de largeur sur 1500 m de profondeur peut se maintenir ouverte ; il faut tenir compte de ce fait que, dans l'intervalle, des blocs provenant de la roche encaissante se sont éboulés formant arc-boutant, blocs que l'on peut retrouver actuellement noyés dans la formation métallifère. D'autre part, en profondeur, les eaux sous pression possèdent une certaine résistance.

De ces considérations on peut conclure que le phénomène de remplissage est à peu près contemporain de la formation de la fissure.

Le remplissage s'est-il fait par voie ignée ou par voie aqueuse ; vient-il d'en haut ou d'en bas ?

Voie ignée ou voie aqueuse. — Les divers cas peuvent s'être produits mais la voie aqueuse paraît avoir été la plus fréquente ; en effet :

1° On ne note aucune trace de fusion dans les filons ;

2° On constate dans la plupart une allure concrétionnée et parfois l'existence de géodes.

3° Les éléments des filons se présentent dans l'ordre où ils auraient été déposés par les eaux ; cet ordre est très différent de ce qu'il serait dans le cas d'un

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

dépôt par voie ignée.

4° Certains minéraux (calcite, barytine, fluorine), accompagnant les minerais, sont susceptibles d'être reproduits par voie aqueuse, non par fusion.

5° On trouve souvent dans le quartz filonien et même dans certains minerais des inclusions liquides, formées probablement même à basse température.

6° La forme de certains gisements (G. de contact hétérogène, remplissage de grottes, pénétration dans les grès) est incompatible avec l'hypothèse ignée.

Per ascensum ou per descensum.

La formation per ascensum paraît démontrée par la forme même des gisements et leur prolongation jusqu'à 1500 m. de profondeur. Si les matières métallisantes étaient venues par en haut, les parties superficielles seules auraient été incrustées et tout le reste de la fissure serait resté vide. On ne s'imagine guère un filon comme celui de Kongsberg, épais comme une feuille de papier et se prolongeant sur 600 m. de profondeur, rempli autrement que par en bas.

De plus les minerais se sont formés dans un milieu réducteur (sulfures, chlorures); les oxydes sont rares et disparaissent en profondeur. S'ils avaient été amenés, per descensum, on trouverait des oxydes beaucoup plus bas.

Cependant l'action par en haut, per descensum, doit être retenue pour les phénomènes de remise en mouvement (boisage des mines; outils en fer de mines anciennes retrouvés incrustés de galène, etc.). De même l'altération de certaines roches a pu donner des oxydes de fer et de manganèse qui ont pu pénétrer par en haut dans des fissures. - Ce procédé ne doit donc pas être rejeté complètement, mais il reste exceptionnel.

Il y a eu, en général, apport des minerais venant d'en bas, sous l'action d'un dissolvant et de minéralisateurs (Chlorures, Fluorures, Sulfures).

Dissolvant. — Les eaux souterraines ont certainement joué un grand rôle; elles peuvent être d'origine superficielle ou d'origine profonde.

Dans le cas des eaux thermales, il est probable qu'elles sont d'origine superficielle.

Dans le cas des roches éruptives et des filons métallifères, les deux origines sont possibles; des expériences ont montré que les roches fondues peuvent dégager de l'eau

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Quoqu'il en soit, cette eau a circulé dans les fractures, s'y trouvant sous pression; elle avait une tendance à remonter.

Des exemples actuels nous montrent le phénomène sous une forme restreinte : Geysers du Yellowstone Park (U.S.A.), de Nouvelle-Zélande, d'Héliopolis (Asie-Mineure), de Hammam Meskoutine (Algérie). Ces eaux chaudes déposent du carbonate de calcium, ou de la silice; on peut imaginer des eaux chaudes venant de la profondeur et y ayant subi une métallisation.

L'origine de celle-ci paraît pouvoir être cherchée dans les roches éruptives; celles-ci - 1° dégagent de l'eau; 2° dégagent des fumerolles (chlorures, sulfures, carbures); 3° produisent des métaux. Les fumerolles, associées avec de l'eau, ont pu dissoudre les métaux, par exemple à l'état de sulfures, de carbures, et les amener à la surface.

Ces métaux provenaient probablement de la roche elle-même qui en contient toujours des traces (Voir précédemment). Il en résulte un lien assez net entre tel type de roche et tel type de minerai.

Rôle de l'oxygène. — La grande majorité des filons ne contient d'oxydes que par suite d'un phénomène d'altération superficielle. Les carbonates, sulfates, oxydes, disparaissent en profondeur, au moins pour la plupart des métaux (Pb, Zn, Cu, Ag, Hg, Au).

Il ne reste plus d'oxygène que dans la gangue (SiO_2, SO_4Ba, CO_3Ca) on peut se demander si ces éléments de la gangue ont la même origine que les minerais associés. Il est certain que la calcite est très soluble et résulte souvent d'un apport superficiel; de même la barytine peut disparaître en profondeur.

Mais il est difficile de généraliser et d'appliquer cette manière de voir à la silice, qui aurait alors une origine profonde. Le Silicium viendrait de la profondeur, l'Oxygène résulterait de la dissociation de la vapeur d'eau, très avide d'oxygène; le Silicium l'aurait immédiatement fixé.. Il en aurait été de même pour certains métaux, très avides d'oxygène, comme l'Etain, le Tungstène, l'Uranium, qu'on trouve à toute profondeur à l'état d'oxydes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Précipitation des métaux. — L'hypothèse autrefois classique et unique était la modification de la température et de la pression suivant la profondeur ; mais il ne faut pas oublier que les filons, actuellement en surface, ont pu se former à 1500 m. de profondeur et plus, où des différences de 10 à 50 m. n'avaient aucune importance.

L'influence chimique de certaines substances, l'action des hydrocarbures ont amené aussi la précipitation de certains minerais (HgS, Ag_2S).

Il faut noter aussi l'influence des matières métalliques : Salbandes (voir précédemment), cas du cuivre précipité sur de la magnétite au Lac Supérieur ; cas des filons croiseurs amenant parfois l'enrichissement à leur rencontre du filon croisé ; des phénomènes de précipitation. L'eau devait se concentrer en profondeur ; certaines substances devaient subir des précipitations successives ; de légères modifications dans la composition des fumerolles arrivant de la profondeur et des conditions de température devaient amener des modifications dans ces précipitations ; des phénomènes électriques (Voir précédemment, p. 20).

Divers types de remplissages

Le remplissage peut avoir une allure concrétionnée (zones parallèles successives), bréchiforme (le minerai englobe des blocs étrangers), confuse.

La répartition des minerais, dans la longueur d'un filon n'est pas partout la même, les teneurs sont variables suivant les points ; il semble que le minerai soit réparti en poches plus ou moins importantes qui donnent à une coupe longitudinale du filon un aspect plus ou moins tigré. Les plans de mines les mettent bien en évidence ; car le réseau des galeries y est beaucoup plus développé. Ces poches présentent une tendance à l'orientation ; les mineurs anglais les appellent "shoots" et pensent que quand on a reconnu la direction de l'une d'elles, on a avantage à chercher les autres dans la même direction.

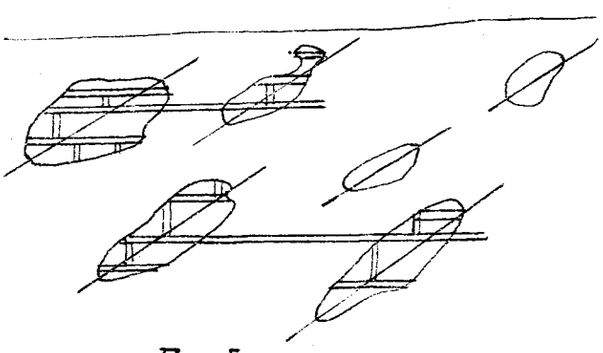


Fig. 5

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Associations minérales. — Les associations de minéraux que l'on trouve dans un même type de remplissage donnent des renseignements sur la nature du magma profond ; elles permettent d'orienter les recherches vers un minerai quand on a trouvé l'un de ses compagnons.

Groupe de l'Etain. — La gangue est quartzeuse, avec du Wolfram, de la pyrite, du mispickel. Les minéraux sont ceux qui accompagnent les granulites c'est-à-dire des phosphates (apatite, montebrasite, vvanvellite, amblygonite, etc.) des fluorures (cryolite, tourmaline, émeraude). Les metaux associés sont : W, Bi, Mo et quelquefois Au. (Les gisements aurifères du Plateau Central sont presque toujours dans des régions stannifères). Les gisements sont toujours décelés à la surface par une substance verdâtre ou jaunâtre, dûe à une décomposition spéciale des Feldspaths et donnant aux affleurements, comme à ceux des filons d'Antimoine, un aspect caractéristique.

Groupe sulfuré. — On trouve constamment associés les sulfures de Zinc, Plomb, Fer, la blende, la galène, la pyrite (par abréviation B. G. P), ainsi que la chalcopyrite. — Ces quatre sulfures font partie d'une même veine ; on croyait autrefois que chaque métal était arrivé individuellement ; c'est là une erreur fâcheuse, elle a eu surtout une importance au point de vue de la constitution des concessions ; on a souvent donné séparément celles de Zinc et de Plomb, de même celles de Fer et de Cuivre, alors que les métaux étaient impossibles à exploiter séparément ; cela a donné lieu à beaucoup de complications.

Ces minéraux et minerais se présentent dans les filons avec toutes les variations possibles ; un filon de galène peut devenir à son extrémité ou se transformer en profondeur en un filon de blende. Les règles qui président à ces modifications en direction nous échappent.

Ces associations qui caractérisent tel ou tel groupe de gisements se retrouvent même à l'état microscopique quand on considère un échantillon individuel. Ainsi, à l'examen spectrographique, une blende montre des traces de toutes sortes de métaux (Pb, Cu, Hg, Sn, Sb, Mo, Bi) ; mais leur nature et leur proportion varie avec chaque gisement. Ainsi les blendes, provenant de gisements de profondeur (Scandinavie, Finlande, Canada ; gîtes de la chaine hercynienne en

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

relation avec des masses granitiques), montrent des traces constantes d'Etain et de Molybdène, mais pas traces de Mercure.

Au contraire les blendes des filons d'âge tertiaire (Algérie, Tunisie), présentent fréquemment des traces de Mercure, mais jamais de traces d'Etain.

Ainsi l'examen spectrographique permet de prévoir quels métaux pourront se trouver associés à celui qu'on exploite; ils peuvent y être rares; mais il y a des cas où ils peuvent être recherchés. Ainsi, il y a trente ans, le tungstène n'avait aucune valeur; le Wolfram était considéré comme une gêne dans les gîtes d'Etain et on le rejetait. Aujourd'hui, le Tungstène est recherché avec une grande activité en particulier dans les exploitations d'Etain.

Zones de minerais. — Le remplissage d'un filon s'est fait très souvent par zones successives, par exemple par zone de galène et de calcite (Un échantillon de 15 centimètres a montré ainsi 45 zones successives). Il y a la preuve de la répétition des mêmes phénomènes, dûs à des questions d'équilibre chimique. On peut les expliquer par des modifications originelles dans la nature du magma (bouffées originelles venant de la profondeur; variations de température, etc.) Mais le phénomène, encore mal étudié, reste vague.

Variations en profondeur. — Outre les modifications accidentelles, dans la nature et surtout dans la teneur, difficiles à expliquer (voir précédemment), d'autres plus importantes paraissent susceptibles d'obéir à une loi.

Beaucoup de modifications sont dûes à des altérations superficielles postérieures au remplissage du filon (voir plus loin); elles s'observent sur 400 ou 500 m c'est à dire à une profondeur analogue à celle atteinte par la plupart des travaux de mines.

Les variations du dépôt primitif sont plus rarement observables; elles peuvent être dûes à des modifications de la température, en fonction du voisinage de la surface; à l'influence de fumerolles provenant de certaines roches voisines et disparaissent quand on s'éloigne de cette roche; à l'influence de certains éléments favorisant la précipitation.

On attachait autrefois une grande importance à ces variations

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

originelles ; on expliquait, et on explique encore quelquefois aujourd'hui, par des variations de température et de pression des modifications qui sont dûes simplement à des remises en mouvement. Ces explications sont erronées dans la majeure partie des cas ; beaucoup de modifications sont manifestement en relation avec la circulation des eaux souterraines ; de plus, le filon a cristallisé à une profondeur tout à fait différente de celle où on l'observe actuellement ; il n'y a donc pas lieu d'invoquer le voisinage de la surface actuelle pour expliquer les modifications originelles.

En réalité, celles-ci sont beaucoup plus restreintes qu'on ne le croyait et difficiles à mettre en évidence.

La mine de Dolcoath (Cornouailles) est très ancienne ; son exploitation a produit du Cuivre jusqu'à 270 m. (Il est possible cependant qu'auparavant on ait exploité autrefois de l'Etain près de la surface). De 270 m à 300 m, on a trouvé ensemble le Cuivre et l'Etain. Puis, à partir de 300 m le cuivre a cessé et on n'a plus trouvé que de l'Etain. Cet exemple est particulièrement net. On l'expliquait parce que les chlorures d'Etain, ayant commencé à se déposer en profondeur, il n'en est plus resté pour se déposer près de la surface où les sulfures de cuivre ont prédominé. Une autre explication est basée sur ce fait que la modification se produit quand on passe du granite dans le schiste ; les deux explications pourraient d'ailleurs se compléter.

Mais il y a certaines objections ; des mines voisines montrent la succession inverse et ont exploité d'abord de l'Etain, et ensuite du cuivre ; quelques-unes présentent une alternance de ces métaux. On pourrait évidemment invoquer dans ces cas l'influence locale du granite ; mais, à la mine de Dolcoath, la transformation des minerais d'Etain et de Cuivre se fait suivant une ligne de niveau (fig. 6) tandis que la surface de contact du granite et des schistes est oblique ; il en résulte que la concordance des deux phénomènes, vraie en certains points de la mine ne l'est pas dans d'autres. Il est donc très possible qu'il faille faire une place à des phénomènes postérieurs de remise en mouvement qui pourraient être intervenus.

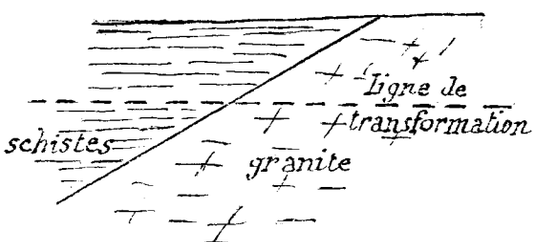


Fig. 6

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Au Mexique, le remplissage contient du Mercure au voisinage de la surface; celui-ci disparait en profondeur, le filon devient plombo. argentifère.

Dans d'autres cas, le filon est cuivreux en surface, plombeux en profondeur.

De nombreux filons d'argent sont riches en Argent dans une zone superficielle au dessous de laquelle l'Argent disparait. Mais là on doit penser surtout à la remise en mouvement ultérieure.

Remises en mouvement. — Ces phénomènes sont indiscutables et très nets. Ils peuvent d'ailleurs remonter à des époques variables.

Quand le filon s'est constitué, il a pu se produire presqu'immédiatement des modifications dans sa constitution. Des eaux chaudes, très minéralisées, circulaient dans les fentes où de la galène par exemple s'était déposée; il a pu se produire une action chimique de ces eaux sur le produit d'une précipitation antérieure. Si la température et la pression étaient la même qu'au moment de cette précipitation, l'action a été nulle; mais si elles étaient différentes, elle a pu être notable; d'ailleurs ces eaux avaient dû changer de composition, s'appauvrir par exemple en Plomb, du fait même de la précipitation. En agissant ainsi sur les parois, ces eaux ont déterminé le remaniement de certains métaux.

De plus, dans le voisinage des eaux superficielles, il y a eu mélange avec elles et modification de température. Il s'en est suivi des phénomènes de redissolution et de reprécipitation dans la zône de contact, qui ont pu remonter certains métaux plus solubles, comme l'Argent et le Cuivre.

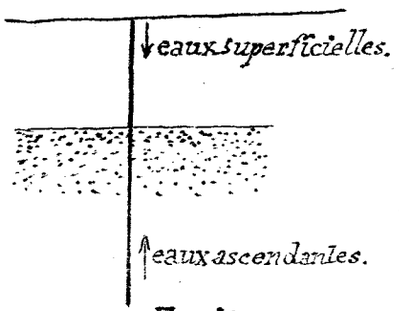


Fig. 7

Ces réactions ont pu se reproduire à diverses époques toutes les fois qu'il y a eu réouverture des fractures et montée nouvelle des eaux chaudes.

Ce phénomène s'est combiné avec l'action des eaux superficielles qui est la plus générale et la plus important à l'époque actuelle et aux époques anciennes (fig. 7).

On sait qu'au-dessous du niveau hydrostatique, les terrains sont imprégnés d'eau; cette eau ne subit guère de mouvements; au dessus au contraire

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

les eaux se renouvellent plus ou moins rapidement. Il s'ensuit un contraste profond entre ces deux zones. Un filon métallifère, situé au-dessous du niveau hydrostatique, se trouve toujours dans la même eau et à la même température; l'équilibre chimique s'établit rapidement et ensuite, il ne se produit plus aucun déplacement de matière. Au contraire, dans la partie qui est au-dessus du niveau hydrostatique, les eaux venant de la surface se renouvellent sans cesse; elles sont chargées d'oxygène, d'acide carbonique, de chlorures, de sulfates, etc.

L'eau perd immédiatement quelques-uns de ces réactifs; les chlorures donnent vite des chlorures de métaux, insolubles, qui se précipitent et qui, par suite, sont, dans les filons, localisés dans le voisinage immédiat de la surface. L'oxygène fait passer les sulfures métalliques à l'état de sulfates; si ces sulfates sont solubles, ils sont éliminés, s'ils sont insolubles, ils se peroxydent: on a ainsi une zône de peroxydation, caractérisée par la présence de sesquioxyde de fer et de chlorures, par la concentration de divers métaux.

Plus bas, les eaux contiennent encore de l'acide carbonique qui agit sur les sulfures et, en présence de l'oxygène, les transforme en sulfates, puis en carbonates

Ainsi, dans un filon de Zinc, on peut trouver successivement de la calamine, tachée de fer (calamine rouge), de la calamine plus pure (calamine blanche), puis de la blende.

Au contraire, les sulfates de Cuivre et d'Argent ont une tendance à être entraînés par les eaux: ils s'arrêtent en arrivant dans la zône du niveau hydrostatique et plutôt un peu au-dessous: il en résulte une concentration des éléments métallifères.

Il faut noter que cette concentration se produit au même niveau que celle produite par les eaux de profondeur: l'une a fait descendre les métaux, l'autre les a fait remonter. Cette zône est la zone de concentration ou bonanza.

Époque de la remise en mouvement. — Elles ont pu se produire, non pas seulement à l'époque actuelle, mais à toute époque géologique. Cependant, plus on remonte loin dans le passé, moins il y a de chances pour que des phénomènes continentaux comme ceux-là, puissent s'observer. Cependant on peut souvent en reconnaître certains indices.

Ainsi dans la chaîne hercynienne, on trouve des filons d'âge carbonifère

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ou permien, par exemple dans la Meseta espagnole où ces filons sont recouverts par des grès triasiques et n'y pénètrent pas, en Belgique où ils sont recouverts par le Crétacé, dans la Chaîne pennine en Angleterre, ou, mieux datés, ils pénètrent dans le Carbonifère inférieur, mais non dans le Carbonifère supérieur.

Ces filons ont fait partie d'une chaine de montagne qui a été ensuite arasée et transformée en pénéplaine; au cours de cette mise au jour, ces filons ont subi des altérations analogues à celles de l'époque actuelle. Puis à la suite de phénomènes d'affaissements, la mer est passée par dessus. Un mouvement de relèvement a ramené la surface au jour et l'érosion a fait son oeuvre, enlevant la couverture crétacée au moins dans les vallées et faisant apparaître le substratum ancien avec ses filons. Les altérations superficielles de l'époque actuelle se sont alors superposées aux altérations superficielles anciennes et il est difficile de les séparer. Si un jour des gisements métallifères sont recherchés sous la couverture crétacée, ils présenteront seulement l'altération ancienne.

Dans les champs de filons de la Saxe, on trouve jusqu'à une certaine profondeur des types de remplissage qui disparaissent en profondeur et que l'on a généralement attribués à des venues spéciales postérieures. On peut se demander s'ils ne sont pas dûs plutôt à des altérations superficielles; la difficulté provient de ce que ces types de remplissage s'observent jusque bien au-dessous du niveau hydrostatique actuel: mais il suffirait d'admettre qu'ils remontent à une époque où le niveau hydrostatique était plus bas qu'actuellement.

Allure générale de l'altération superficielle. - Cas de l'Or

On peut prendre comme type le cas d'un mélange de sulfures: pyrite de fer, mispickel, chalcopyrite, stibine, et de sulfures d'argent contenant parfois aussi des séléniures et des tellurures et renfermant de l'or.

Les eaux superficielles, pénétrant dans le filon, dissolvent et entraînent d'abord une partie des sulfates au dehors, ce qui produit un appauvrissement du filon en surface. L'autre partie se peroxyde et se précipite; ainsi se constitue le chapeau de fer (Eisenhut) qui peut avoir 25, 30, 40 m et quelquefois plus d'épaisseur[1]. Le chapeau de fer donne des indications précieuses sur le filon sous-jacent: «un filon qui a un beau chapeau est un beau filon.»

---

[1] Dans les grands gisements aurifères d'Espagne (Rio Tinto), les anciens avaient déjà travaillé sous le chapeau de fer; les exploitations actuelles s'en sont débarrassées en le faisant sauter par une immense tranchée.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Dans ce chapeau de fer, on trouve du quartz rubéfié et carié c'est-à-dire rempli de petites cavités qui correspondent à des cristaux de pyrite disparus. On y trouve de l'or à l'état natif, avec de magnifiques cristallisations qui disparaitront toujours en profondeur et qui suivent des fissures. Cette concentration de l'or est un phénomène postérieur dû à des remises en mouvement ; cela peut sembler contradictoire avec certaines notions de chimie élémentaire ; mais pour divers corps réputés insolubles (Au, SO_4Ba, $CaFl_2$, PbS, SnO_2) il faut tenir compte de la solubilité dans des solutions très étendues, agissant pendant un temps très long. Des expériences de laboratoire ont d'ailleurs montré la solubilité de l'or dans des eaux faiblement chargées de nitrites, d'acide humique, etc. dans les mines, on utilise de même la solubilité de l'Or dans des cyanures très étendus.

En s'enfonçant davantage, après cette zone d'oxydation, on trouve la zone de cémentation proprement dite où l'enrichissement s'accentue.

On arrive ensuite dans la région des sulfures (pyrite, nickel), où il y a un appauvrissement notable ; il y a disparition des métaux facilement amalgamables, ce qui amenait autrefois de sérieuses difficultés ; on peut les surmonter aujourd'hui grâce aux procédés de cyanuration et chloruration.

Les phénomènes ainsi décrits ont pu se produire un peu avant notre époque, mais dans le même cycle géologique, par exemple depuis l'époque pliocène.

L'Or s'est concentré dans la première zone (fig. 8), puis l'érosion a entraîné une partie de cette zone et l'or qu'elle contenait dans des alluvions ; les progrès du creusement des vallées latérales ont déterminé la descente du niveau hydrostatique en 2 et l'Or provenant d'une zone disparue, de plus en plus haute, s'est concentré dans une zone restreinte. S'il y a eu ensuite remaniement alluvionnel de cette zone enrichie, les alluvions peuvent présenter une certaine richesse en or, alors que les formations primitives sont pauvres.

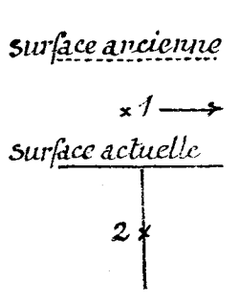


Fig. 8

Cas de l'Argent. — Les mêmes phénomènes y sont très nets aussi. On trouve souvent à partir de la surface une argile ferrugineuse, sorte de boue, d'ocre, de sable ne présentant aucun caractère métallique, mais donnant à l'analyse des chlorures et bromures d'argent et contenant parfois de l'Argent natif.

Les affleurements sont plus faciles à reconnaître quand à l'argent

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

est associé du Manganèse (oxydes noirs), du Cuivre (colorations vertes et bleues caractéristiques), du Plomb (La galène a souvent résisté à l'altération, au moins sous la croûte superficielle où l'on trouve des croûtes jaunâtres de carbonate; elle se trouve alors en gros cristaux disséminés dans un quartz rubéfié et carié; voir plus haut).

Quand on s'enfonce, on arrive à la zone de cémentation ou bonanza. C'est là que se sont faites des poches très riches sur des filons d'argent; cette zône peut atteindre 1000 mètres de hauteur; elle est surtout nette au Mexique à cause de la grande profondeur des vallées et de l'abaissement corrélatif du niveau hydrostatique. Il en est de même dans les Andes, pour la même raison.

Dans cette zone de cémentation, l'Argent est concentré à l'état de sulfosels (Argent noir, argent rouge); s'il est mélangé à du Cuivre, on trouve en même temps du Cuivre gris, de la Philippsite, de la Cholcosine, de la cuprite, du cuivre natif. D'importants phénomènes de concentration s'y sont produits, par poches ou par grandes chambres. Ainsi au Comstock, Nevada, on a trouvé, sur une surface de quelques centaines de mètres, pour 300 ou 400 millions de francs d'argent et d'or.

Ces phénomènes cessent d'une façon très nette, quand on dépasse sensiblement le niveau hydrostatique; la teneur diminue considérablement, par exemple pour le cuivre de 15% à 2%, pour l'argent de 5 ou 6 Kgr. à la tonne à 1 Kilogr. Il en résulte souvent l'arrêt des mines à ce niveau, d'autant plus que l'arrivée de ces faibles teneurs coïncide avec le commencement des difficultés d'épuisement souvent insurmontables autrefois. Aujourd'hui on peut exploiter quelquefois ces parties profondes; on a l'avantage d'y trouver des quantités énormes de minerai vierge, dans lequel il n'y a eu aucune exploitation ancienne ayant "ecrêmé" le gisement, comme dans les parties supérieures; la grande quantité permet de travailler ainsi des minerais pauvres, ne contenant pas plus de 800 gr. à 1 Kgr. d'argent à la tonne.

Gisements de remaniements.

On peut les diviser en deux groupes; ceux qui sont simplement détritiques, et ceux dûs à des réactions chimiques où il y a dissolution et reprécipitation.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisements détritiques.

Le procédé employé par la nature est le même que celui utilisé dans nos usines : quand le minerai est mélangé à sa gangue, on le concasse puis on le lave pour séparer les minéraux de densité différente. Ces opérations se sont faites naturellement dans beaucoup de cas, en particulier pour les gemmes. (Les gisements de cette sorte ont été longtemps les seuls où on exploitait le diamant; ils sont encore les seuls où l'on exploite le rubis et le saphir.), pour l'Or, l'Etain, le Titane, le Bismuth, la magnétite. Par suite de leur nature superficielle, ces gisements ont joué dans la métallurgie ancienne un rôle considérable qui tend à s'atténuer aujourd'hui au fur et à mesure que l'on découvre et qu'on exploite des gisements d'une autre nature. Cependant on tent à reprendre des gisements de sables à magnétite. L'extraction de l'Etain de ces gisements est encore florissante, mais au fur et à mesure de leur épuisement, on tendra de plus en plus à s'adresser aux filons. De même pour l'Or, les alluvions s'épuisent peu à peu; on doit aller les chercher dans des pays nouveaux et on a dit qu'à toute époque, l'or est venu des confins de la civilisation. Aujourd'hui la production de l'or alluvionnaire diminue très rapidement. Le diamant, d'origine alluvionnaire, a presque disparu; cette pierre précieuse vient à peu près exclusivement des cheminées diamantifères. - Malgré la disparition progressive des gisements de cet ordre, leur importance est encore considérable.

L'époque à laquelle s'est faite cette concentration mécanique naturelle peut être absolument quelconque; cependant, comme dans les phénomènes continentaux, ces gisements sont détruits rapidement et ils sont rares aux époques très anciennes.

On a cité l'exemple des conglomérats aurifères à galets roulés du Dakota, mais les galets d'or roulé qu'on y a signalés sont probablement accidentels et peut-être mal observés. Cette explication a été abandonnée pour les conglomérats du Witwatersrand. Le phénomène est assez fréquent dans le Carbonifère d'Australie; il est intéressant parce qu'il peut être daté; de nombreux filons recoupent le Dévonien et le Carbonifère inférieur; on voit apparaître dans le Carbonifère supérieur des grains d'or, d'origine détritique. Dans la même région, on connait, au Jurassique, des alluvions aurifères; on peut même les suivre vers le littoral; elles s'y transforment en alluvions marines. On en connait aussi à l'époque miocène.

Les conglomérats à galets de galène roulée existent en certains points, mais ils sont rares, car les cristaux de galène se clivent et s'effritent trop facilement;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

pour que le phénomène puisse être observé, il faut la proximité immédiate d'un rivage. On connait plusieurs cas discutables ; un seul est net, celui du cap Garonne près de Toulon ; un conglomérat du Permien y contient de véritables galets de Galène ; ceux-ci ont dû être arrachés aux filons qui, dans cette région, sont d'âge ante-permien, probablement antérieurs au Carbonifère supérieur.

Tous ces cas, se rapportant à des époques anciennes, n'ont pas une grande importance au point de vue industriel.

Les gisements détritiques intéressants se rencontrent surtout pendant le cycle de creusement qui s'est terminé à l'époque actuelle, qui a pu commencer suivant les régions au Miocène, au Pliocène ou au Pleistocène, et qui a été prépondérant pendant le Pléistocène.

On peut distinguer les

Eluvions, gisements détritiques formés presque sur place sans véritable déplacement par les cours d'eau. Ainsi un simple éboulis donnera une éluvion ; rarement intéressante, exploitée cependant dans quelques cas particuliers pour Fer, Fer chromé, Etain (Mount Bischof en Tasmanie). On trouve parfois à la base de certaines pentes des **débris** ; les plus légers ont été détruits ou entrainés, les parties rocheuses accumulées à la base ont subi une grossière préparation mécanique.

Celle-ci peut avoir été produite aussi par une moraine glaciaire, quoiqu'il y ait eu généralement mélange de l'action glaciaire et de l'action fluviatile, surtout aux périodes intermédiaires. Dans ce cas il y a remaniement presque sur place. Cette explication a été proposée pour divers gisements de l'Alaska, de la Terre-de-Feu, de la Haute-chaine des Andes, pour des gites aurifères du Turkestan (très douteux).

Alluvions, gisements formés par l'action des phénomènes fluviatiles. Elles se sont surtout formées dans des cours d'eau, ayant eu une extension et une force plus grandes que ceux de l'époque actuelle. Elles peuvent être à nu ou avoir été recouvertes ultérieurement par des coulées de basalte qui les ont préservées de l'érosion. Ces gisements remontent aux époques miocène, pliocène, pleistocène. Les premières se sont formées sur les Hauts Plateaux, où l'on a pu souvent déterminer l'emplacement du réseau hydrographique du début du Pliocène, tout à fait différent du réseau actuel. Plus tard elles forment des niveaux étagés, produits

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

au fur et à mesure du creusement des vallées, jusqu'à l'époque actuelle. Actuellement, certains cours d'eau roulent encore de l'or qui va se concentrer dans des points privilégiés, îles, baies, etc. (Rhin, etc.).

Ces alluvions métallifères (Au, Sn, Pt) obéissent à certaines lois.

Les métaux ont été transportés à une distance très faible de leur gisement original. Les observations et les expérimentations ont montré que 2 à 3 kilomètres étaient un maximum : sauf pour quelques parcelles extrêmement ténues d'or (floating Gold) qui peuvent être transportées à des distances considérables. On a cru longtemps que les métaux natifs des alluvions pouvaient venir de très loin; cela tenait à ce qu'on ne s'était pas rendu compte que des gisements originels pauvres pouvaient produire des alluvions riches. En réalité, l'alluvion se produit presque sur place, presque sur le gisement.

L'Or est généralement localisé à la base des alluvions; c'est immédiatement au dessus du bed rock que l'on trouve la roche la plus riche, surtout quand le bed rock est constitué par des schistes dont les rugosités retiennent les paillettes d'or et jouent le même rôle que la peau de mouton des orpailleurs du Turkestan. Ce fait de la localisation de l'Or à la base des alluvions doit être expliqué. On avait pensé que l'Or plus lourd avait dû tomber au fond; ce serait admissible si toutes les alluvions s'étaient formées d'un coup; mais comme cela n'est pas, il est impossible d'expliquer ainsi que de l'Or, apporté par exemple 2000 ans après la formation de la base des alluvions, y soit descendu.

On a parlé aussi d'une descente postérieure de l'Or dans des terrains meubles. Ce fait admissible dans certains cas, comme intervention accessoire, ne l'est pas comme cause principale. Les alluvions contiennent, en effet, toujours des filets argileux, qui arrêtent la descente. Il y a effectivement parfois enrichissement le long de ces filets argileux, mais c'est un phénomène local et exceptionnel.

Il arrive aussi dans certains champs alluvionnaires qu'il existe une seconde couche aurifère au dessus du bed rock, parfois même une troisième; elle repose souvent sur une deuxième couche de galets. Dans ce cas elle ne peut être expliquée par le phénomène de descente progressive.

Il est plus probable que, quand le bed rock s'est formé, il y avait à la surface du sol des affleurements filoniens ayant subi une longue altération sur place

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

(voir précédemment, p. 41) et relativement riches. Ce sont les produits de leur démantèlement qui se sont déposés au fond des alluvions. Par la suite, les gisements sont devenus plus pauvres et les alluvions aussi. Il y a d'ailleurs eu probablement une phase assez longue pendant laquelle les gisements se sont maintenus riches ; mais il faut en outre tenir compte de ce fait que des phénomènes secondaires ont pu, dans une certaine mesure, amener l'Or à descendre, et cela d'autant plus facilement qu'il était plus fin. On sait, en Archéologie, que des médailles ont pu descendre ainsi à travers les terrains.

Les graviers aurifères se présentent à deux états : les graviers rouges, superficiels, teintés par de l'oxyde de fer ; les graviers bleus (blue gravels) dont la couleur est due à de la pyrite ayant subi un commencement de décomposition. Comme de nos jours la pyrite, dans les cours d'eau, est presque toujours oxydée, on peut penser que les alluvions se sont déposées dans des eaux profondes ou plutôt que la pyrite y résulte d'une recristallisation.

Le même phénomène de recristallisation a dû se passer pour l'Or ; car l'Or alluvionnaire est toujours plus volumineux que celui des gisements originels ; de plus les pépites d'or sont souvent si finement cristallisées qu'il est impossible d'admettre qu'elles aient pu être transportées ; il y a donc eu concentration de matières dans les alluvions elles-mêmes. On a d'ailleurs pu reproduire cette cristallisation expérimentalement par l'emploi de liqueurs chlorurées ou cyanurées. Un autre argument à cet égard est le titre de l'Or alluvionnaire, plus élevé que celui de l'Or filonien ; le fait, souvent constaté, n'est pas à l'abri de toute critique, quoique les exemples se multiplient.

La teneur des alluvions aurifères est très variable ; la limite d'exploitabilité est une question purement industrielle ; actuellement avec la méthode hydraulique, on exploite jusqu'à 0, 50 franc d'Or par mètre cube. La teneur n'est d'ailleurs jamais très considérable, au plus quelques grammes. On a cependant trouvé des pépites d'or pesant jusqu'à 60 et 70 Kilogrammes.

Gisements littoraux. — A côté des alluvions et des éluvions, les mouvements oscillatoires des vagues ont pu produire une préparation mécanique et une concentration des matériaux durs et lourds sur certaines plages. Sur toutes les côtes où abondent les diabases et les métaphyres, roches toujours riches en magnétite,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

celle-ci se concentre et forme de véritables sables à magnétite, parfois exploitables à peu de frais, faciles à embarquer et à traiter, que l'on recherche de plus en plus.

On connait de même des sables stannifères sur les côtes de Bretagne, d'Espagne, de Portugal et quelques exemples de sables marins aurifères.

Les sables diamantifères de l'Afrique Orientale allemande se sont progressivement formés et enrichis par la destruction de cheminées diamantifères dont on suppose l'existence vers la mer; du fait même de leur origine, ces diamants sont toujours petits.

Gisements dûs à des réactions chimiques.

Les eaux qui circulent sur un gisement filonien y exercent une action destructive; elles y dissolvent les éléments solubles (SO_4Fe, SO_4Cu, etc.); dans la plupart des cas, ceux-ci sont emmenés à la mer; mais quelquefois ils vont dans des bassins fermés où se produit la concentration des éléments dissous: chlorure de potassium, sel de magnésie, borates, etc. et même matières métalliques.

Gisements d'évaporation saline. — Ils sont constitués par des lentilles salines pouvant atteindre 300, 500, 800 m. d'épaisseur; on a vu précédemment (page 18) qu'une telle épaisseur nécessitait une explication spéciale.

Dans ces lentilles, les sels se déposent dans l'ordre d'évaporation, à savoir: gypse, chlorure de sodium (sel gemme), sulfate de magnésium, chlorure de potassium, etc., carnallite, sels déliquescents, surtout magnésiens, avec une certaine proportion d'acide borique.

Ces sels paraissent s'être formés dans des lagunes fermées, soumises probablement à un climat désertique.

L'influence d'une barre permettant seulement le passage des eaux peu salées par dessus un seuil, empêchant leur retour après concentration, ne suffit pas à expliquer les faits: il est probable qu'au moment des phénomènes de plissements, des bassins d'effondrement se sont formés où les eaux s'accumulaient: de même un affaissement progressif de ces bassins y permettait le dépôt d'épaisseurs considérables de sel, chaque couche étant cependant déposée sous une profondeur d'eau très faible (Voir page 18).

Gisements de matières métalliques. — Le même phénomène

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

a pu se produire théoriquement pour des matières métalliques surtout pour le fer et le cuivre, mais on a souvent exagéré considérablement son rôle en l'invoquant toutes les fois qu'on a trouvé des gisements interstratifiés de sulfures de fer et de cuivre. En réalité, il faut tenir compte de la fréquence des phénomènes d'intrusion donnant des nappes à allure stratifiée dans les schistes, des réseaux métallisés dans les calcaires, des filons-couches, faciles à confondre avec des sédiments proprement dits. La distinction entre les gisements réellement sédimentaires et les filons-couches a cependant une grande importance pratique ; les gisements sédimentaires peuvent se continuer sur de grandes distances ; les filons-couches sont généralement limités.

Les couches réellement interstratifiées coïncident avec certains épisodes de la sédimentation et se trouvent à des niveaux déterminés. Si la métallisation s'est produite dans plusieurs étages géologiques et à tous les niveaux d'un même étage, il y a des chances qu'il s'agisse de filons-couches, il en est de même si l'on a affaire à des groupes de gisements isolés.

La nature du terrain encaissant peut fournir un autre critérium. L'origine sédimentaire du minerai est peu probable s'il est réparti dans un calcaire organisé ; dans un grès on peut observer des phénomènes de sédimentation, d'ailleurs plutôt détritiques que chimiques et produits dans des conditions peu favorables ; les schistes, constitués par des éléments vaseux, déposés dans des eaux tranquilles, très chargées en matières organiques, réductrices, ont constitué un milieu très favorable pour la précipitation des sulfures métalliques.

Enfin la nature du métal rend aussi plus ou moins plausible l'hypothèse de l'origine sédimentaire par précipitation chimique ; probable pour le cuivre, moins probable pour le plomb, invraisemblable pour l'or.

Enfin dans l'examen d'un gisement, il faut tenir compte des phénomènes de remise en mouvement ; il est rare que l'interstratification soit absolue.

Malgré ces réserves, il est certain qu'il existe des gisements sédimentaires d'origine chimique, localisés dans certaines zones géologiques avec la même nature et les mêmes caractères. Il en est ainsi, en particulier, le long de la zône hercynienne ; il s'est produit là pendant le Permien et au début du Trias, des grès, des conglomérats, puis des schistes ; la série se termine souvent par des formations lagunaires avec gypse et sel. Les gisements métalliques se trouvent soit dans les grès et les conglomérats, où ils sont à l'état de poussière et de nodules métalliques dispersés, soit dans les schistes, où ils sont formés par des filets très minces, toujours accompagnés de matières réductrices, substances végétales, troncs d'arbres, charbons imprégnés de cuivre (Mansfeld), véritables couches bitumineuses imprégnées de cuivre. On connait des gisements de ce genre à

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Minorque, dans le Manofeld, dans la région de Perm, dans la Sierra Nevada etc....

Ces gisements sont localisés à une certaine phase géologique; mais ils ne se trouvent pas toujours au même niveau. D'ailleurs le cuivre ne s'est pas produit à une époque déterminée; il s'est déposé à une période de conditions favorables, quand la dissection de la chaîne hercynienne était assez avancée pour fournir des minerais; suivant les points, ce minerai est arrivé, soit dans le Permien, soit dans le Trias.

Problèmes généraux

Age des gites métallifères.

Quoique souvent difficile, la détermination de l'âge des gites métallifères n'est pas impossible. Elle peut se faire souvent indirectement par l'étude de la géologie de la région et comporter cependant une certaine approximation.

L'âge d'un grand nombre de filons a été ainsi déterminé; on peut en tirer des conclusions.

Tout d'abord les gisements du type filonien sont *localisés à certaines périodes* de l'histoire géologique. Ils sont très rares dans les zones de formations anciennes et de plissements anciens; dans les régions où tout plissement a cessé depuis le Silurien ou le Dévonien, il y a extrêmement peu de filons métallifères, mais seulement des gisements de segrégation, d'imprégnations diffuses, de minéralisation profonde, en relation avec les magmas granitiques et avec la gneissification. Ainsi, en Scandinavie, en dehors de la Scanie, région affectée par des mouvements récents, on ne connait que 2 ou 3 filons insignifiants. Il en est de même dans la Léna, le Canada, la plate forme hindoue. Il est probable que dans ces régions *les filons n'existent plus*, que l'érosion a du dépasser la zone filonienne, au-dessous de laquelle les fissures n'ont pas été remplies par des matières métalliques.

Au contraire, les filons sont innombrables en Europe centrale, dans l'Ouest américain, au Japon, dans l'Altaï et dans les régions de plissements carbonifères et tertiaires: c'est à cause de cette localisation dans les pays des premières études qu'on considérait autrefois le phénomène filonien comme un phénomène général.

Quand on essaie de déterminer l'âge de ces filons, on constate qu'il se rapporte à deux phases, l'une hercynienne (carbonifère et permienne), l'autre tertiaire.

Ainsi on connait:

un très petit nombre de filons, antérieurs au carbonifère;

un certain nombre de filons, d'âge carbonifère, permien ou même triasique;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

un nombre énorme de filons tertiaires.

Cette constatation corrobore cette idée que les filons ne se prolongent pas indéfiniment en profondeur et que, si l'on en trouve peu ou pas appartenant à des époques anciennes, c'est que depuis lors l'érosion a eu le temps de les faire disparaître complètement.

La localisation des filons à deux époques déterminées coïncide avec ce fait que ces deux époques ont été des périodes de paroxysme dans l'histoire de la terre où les dislocations ont joué un grand rôle et facilité la métallisation.

Les gisements d'âge carbonifère se trouvent par exemple dans la chaine pennine : là, des filons traversent le calcaire carbonifère, mais non le houiller superposé ; de plus dans ces filons, ont pénétré par en haut des débris des terrains supérieurs (fossiles du Houiller et du Lias) ; il n'y a donc pas de doute que ces filons postérieurs au Carbonifère inférieur, antérieurs au carbonifère supérieur, ne soient d'âge carbonifère. — A Linarès (Espagne), des filons de plomb sont recouverts par des grès du Trias. — Les gites de la Vieille-Montagne (Belgique) traversent le Carbonifère et sont recouverts par le Cénomanien. — En Australie, de grands filons recoupent le Carbonifère inférieur et sont recouvert par le Carbonifère supérieur.

On peut avoir également une notion sur l'âge des filons par l'étude des roches auxquelles ils sont associés. Ainsi l'étain est associé à la granulite dans le Massif-Central de la France ; celle-ci recoupe des terrains d'âge indéterminé, peut-être siluriens, et on en trouve des galets dans le Carbonifère supérieur et même au sommet du Dinantien. Son âge est donc bien déterminé ; par contre-coup celui des filons d'étain l'est aussi.

Les gisements d'âge tertiaire sont nets dans plusieurs points.

En Algérie, les filons recoupent des terrains d'âge quelconque. — Dans l'Ouest de l'Amérique, ils traversent le Crétacé et l'Oligocène. — Il en est de même dans les Andes.

Un grand nombre de gisements de l'Europe centrale, situés le long de la Chaîne hercynienne, paraissent avoir un âge hercynien ; en réalité ils sont d'âge tertiaire. Toutes les fois qu'un grand mouvement de plissement s'est produit, l'« avant-pays » a subi un contre-coup ; il s'y est produit des dislocations latérales, particulièrement favorables au dégagement des vapeurs métalliques ; c'est ce qui s'est produit dans le Massif-Central de la France, le Harz, où un grand nombre de filons de Freiberg paraissent d'âge tertiaire.

Ainsi certaines phases de dislocation sont particulièrement favorables à la métallisation. Les filons ont d'autant plus de chances d'être préservés qu'ils sont plus récents. Il s'en suit que ces filons n'ont pas dû se prolonger indéfiniment en profondeur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Relations des filons et des roches ignées

Suivant le type pétrographique des roches, on rencontre des métaux différents; il semble donc que le type métallogénique puisse être en relation avec la profondeur moyenne.

Ainsi, l'Etain est associé aux granites, roches de grande profondeur
l'Antimoine — " — microgranites
le Plomb — " — microgranulites } roches de profondeur moyenne
l'Argent, le Mercure " roches microlithiques, consolidées dans le voisinage de la surface.

Dans certains cas, les métaux forment des auréoles autour des magmas granitiques; au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre, on trouve des types pétrographiques et des types métalliques plus superficiels. On trouve ainsi successivement, l'Etain, puis le Cuivre, le Zinc, enfin le Plomb.

Cet ordre de succession n'est pas général; mais on en a trouvé la confirmation dans les régions les plus diverses, en Cornouailles, en Toscane, au Yunnan, etc... Il doit être en relation avec ce fait que les fumerolles s'éloignent progressivement de la roche en changeant de nature et de température; successivement les chlorures, puis les sulfures y disparaissent.

Provinces métallogéniques.

On constate que certaines régions différentes présentent un même type métallogénique très caractéristique. Le mineur, habitué à un district déterminé et transporté dans un district du même type, s'y reconnaîtra sans peine. Au contraire, si on le conduit dans une région de type différent, il sera complètement désorienté.

On peut citer comme appartenant au même type : le Massif-Central de la France, la Bohème, la Saxe, l'Altaï, certains pays d'Amérique, entre les gisements desquels il existe un air de famille.

On peut ainsi faire un essai de classement des régions du globe; chacun des types ainsi déterminé se trouve en relation avec certaines zones de plissements et de dislocation.

Ainsi tous les gites des chaines de plissement de l'époque carbonifère (chaîne hercynienne) sont du même type. Ceux des chaines tertiaires sont d'un type différent. — Un troisième type est celui des régions où les mouvements tertiaires ont disloqué la zone des plissements hercyniens. — Enfin au Nord se trouve la plateforme primitive.

Ce type métallogénique régional a son contre-coup jusque dans les traces de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

métaux étrangers englobés par un minerai d'une région. Suivant les régions ces traces diffèrent et obéissent à une loi théorique.

Grâce à toutes ces données, on peut, dans une région sur laquelle on n'a que des études géologiques sommaires, prévoir le type de minerais qu'on y trouvera.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

2ème Partie

Azote

L'azote joue un grand rôle dans le monde organique; mais il est rare dans le monde minéral.

Les plantes fixent l'Azote de l'air atmosphérique; mais depuis quelques années on a reconnu la nécessité de mettre des *nitrates* dans le sol. L'agriculture consomme ainsi 2 millions de tonnes de nitrates par an, soit, à 15% d'azote, 300 000 tonnes d'Azote.

L'Azote lui-même est utilisé pour réaliser des réactions chimiques en milieu inerte. Mais on emploie surtout ses composés, l'acide nitrique, l'Ammoniaque, etc...

L'*Acide nitrique* joue un grand rôle dans les réactions chimiques; sa consommation augmente rapidement (5000 tonnes par an en France). Il sert: 1°: Comme agent d'oxydation dans la fabrication des acides: sulfurique, arsénique, oxalique; 2°: Comme agent de nitrification dans celle de divers composés nitrés (cellulose, nitroglycérine, celluloïde, etc.) 3°: Comme agent de dérochage dans le travail des métaux (cuivre, bronze, etc.), 4°: Comme agent de dissolution dans la production des nitrates métalliques.

L'Azote entre aussi dans la composition de l'*Ammoniaque* et de ses sels qui ont des applications nombreuses (fabrication de la soude à l'ammoniaque, procédé Solvay), des *cyanures*, employés dans le traitement des minerais d'or, etc...

Les *nitrates* sont utilisés: 1°: (salpêtre, nitrate de potasse) comme agent oxydant permettant la conflagration du carbone et du soufre dans la poudre; 2°: en agriculture.

L'azote existe dans l'air (79% à notre hauteur); la proportion augmente quand on monte; à 80 km. il y a prédominance d'azote et d'hydrogène; au delà l'hydrogène règne presque seul.

L'azote ne joue qu'un rôle minime dans le monde minéral; il est resté un élément essentiellement superficiel et tout l'Azote du globe est en somme emprunté à l'atmosphère.

En dehors de la fixation par les plantes, l'azote peut être fixé naturellement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

sous la forme de nitrates.

On sait que le salpêtre se produit ainsi par efflorescences.

Récemment, en prenant du sulfate d'ammonium et en en arrosant du noir animal, en ensemençant de microbes nitrifiants, on a pu obtenir par hectare et par an, 6000 tonnes de nitrates, trop dilués il est vrai. Mais en maintenant la température aux environs de 15 à 20° et avec des labourages, on obtient, par hectare et par an, jusqu'à 4 ou 5000 tonnes de nitrates assez concentrés.

Il se produit d'ailleurs actuellement des nitrates sous nos yeux dans toutes les régions désertiques du Tibet, du N.W de l'Inde, de la Perse, du Sud-Algérien, mais un seul gisement dans le monde est important, celui du Chili.

Emploi agricole des nitrates. — Les nitrates, très solubles, passent dans les eaux; leur présence est même un indice de celles de matières organiques dans l'eau et par suite d'une contamination possible.

La Seine emporterait ainsi 238 tonnes à la mer par an.

Le Nil _____ 301 _____.

Il y a une dépense journalière d'Azote à laquelle l'Air a suffi longtemps. L'Azote en est fixé par les plantes, soit sous l'action d'effluves électriques, soit sous celle de microbes (nitromonades).

Actuellement les nitrates sont fournis par deux sources :

1°) Fabrication de *nitrates artificiels* et de *cyanamide* par fixation de l'Azote de l'Air (environ 200000 tonnes par an); il y a une industrie nouvelle, datant de 4 ou 5 ans, qui se développe malgré certains déboires au début; — 2°) *Nitrates du Chili* (env. 2 millions de tonnes par an); découverts en 1821, ils ont commencé à être exportés vers 1827; ils ont subi des variations de prix considérables, d'abord 65 fr. les 100 kg., puis 37 fr. en 1879, 25 fr. en 1868, 19 fr. en 1890. Les prix, sujets à de grandes fluctuations à causes diverses, oscillent depuis quelques années entre 17 et 22 fr.

La production, de 1500000 tonnes en 1903, ~~est actuellement~~ (1909) de plus de 2000000 de tonnes; mais les gisements de nitrates riches, presque seuls à être exploités jusqu'à présent sont près de s'épuiser; il reste, il est vrai, d'énormes gisements de nitrates pauvres.

Gisements du Chili. — Ils forment une zone assez étendue entre la Cordillière des Andes et la côte de l'Océan Pacifique. Dans le Sud, ils forment une pampa et dans le Nord, ils recouvrent une région désertique où les exploitations se sont surtout développées

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

(Atacama, Tamarugal). C'est un pays extrêmement plat où l'eau et la végétation manquent complètement. On a dû surmonter de grandes difficultés, mais maintenant le chemin de fer montant en Bolivie facilite l'exploitation sur son passage.

A partir de la surface, on trouve :

Couche de sable avec gypse ;

Conglomérat de graviers à peine roulés (Costra) avec ciment de sulfates divers et de chlorure de sodium. On y trouve des efflorescences nitrées, ayant un aspect de terre gelée (1 à 3 m.)

Gisement de nitre, n'arrivant qu'exceptionnellement à la surface (Caliche). D'un gris sale, plus ou moins blanchâtre, la caliche contient 50 % de nitrates de soude, mélangés avec du chlorure de sodium, du sulfate de potassium, du sulfate de calcium, des sels de magnésie, etc.. (Epaisseur 0m.20 à 2m.00)

Mince couche d'argile.

Roche primitive.

Pour exploiter le gisement on fait des sondages ; puis on fait sauter à la dynamite ; on met ainsi à nu la Caliche.

On l'extrait et on la traite dans des usines où on la raffine pour séparer les nitrates de ses sous-produits, dont l'Iode est le principal.

Le produit marchand est un nitrate à 95 %.

La caliche dépasse rarement une teneur de 50 % ; au dessous de 17 % elle n'est pas exploitable actuellement.

Plusieurs hypothèses ont été faites sur l'origine de ces nitrates.

1°) On a pensé que les gisements représentaient d'anciennes plages marines soulevées ; on s'appuyait sur la présence de l'Iode et sur l'absence du Phosphore. Cette hypothèse n'est pas très conforme aux études géologiques faites sur les 75 km. qui séparent les gisements de la côte.

2°) On a supposé qu'il y avait analogie avec le gisement des Iles Chincha, dû à l'accumulation de guanos d'oiseaux de mer qui contiennent une faible proportion d'Iode. Cette explication n'est guère applicable à une zône aussi grande où l'on n'a d'ailleurs aucun indice d'énormes rassemblements d'oiseaux.

3°) L'origine des nitrates peut être dûe simplement à une végétation terrestre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Si la pampa du sud, riche et bien cultivée, se trouvait transformée en région désertique par suite d'un changement de climat, l'Azote accumulé dans les végétaux pourrait peut-être se transformer en nitrates par l'action des nitromonades. Le sodium nécessaire viendrait alors du lavage des roches volcaniques ; les eaux les accumulant dans les dépressions fermées, comme cela arrive dans tous les déserts. Le conglomérat de graviers de la partie supérieure serait alors l'apport des galets après la transformation.

Les principales mines sont : Cachiyugal, Rio Loa, Lautaro, etc...

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Famille du Fluor, Chlore, Brome, Iode

Fluor

Applications. — Le Fluor libre n'est connu que depuis 1836, grâce aux travaux de Moissan qui réussit à l'obtenir par électrolyse du fluorure de potassium, mélangé à de l'acide fluorhydrique anhydre. En 1900 seulement, on commença à le fabriquer industriellement ; mais ses applications sont encore rares à cause de son prix élevé.

Parmi ses composés, l'acide *fluorhydrique* sert à la gravure sur verre, comme antiseptique dans certaines fermentations, à la fabrication de l'acide hydrofluosilicique et des fluosilicates, dans certains travaux de forage.

Le principal minerai est la *fluorine* ($Ca\ F l_2$) qui a elle-même des applications dans la métallurgie du fer, de l'acier, où elle donne une grande fluidité au bain et procure ainsi une économie considérable. Son usage, abandonné un moment à cause de l'insufflation de l'air, tend à être repris ; il faut seulement qu'elle ne contienne pas plus de 3 à 4 % de $Si O_2$. — Elle est utilisée aussi dans la métallurgie de l'Aluminium (il faut qu'elle ne contienne pas de $Si O_2$, qui passe dans l'aluminium et le rend cassant, et qu'elle soit très blanche). — Les verreries consomment également une certaine quantité de fluorine (10 % de la consommation totale). — Enfin quand elle est en blocs assez volumineux, elle sert de *matière d'ornement*. Les Romains fabriquaient ainsi les vases *murrhins* très renommés. L'inconvénient est une grande fragilité due au clivage.

Statistique. — La production est de 35000 tonnes aux Etats-Unis, 40.000 tonnes à un moment et 25.000 tonnes aujourd'hui en Angleterre, 15.000 tonnes en Allemagne, 5000 tonnes en France, etc... au total environ 200.000 tonnes dans le monde.

Le prix moyen est de 20 fr. la tonne pour le sable lavé destiné à la métallurgie,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

de 50 fr. la tonne pour les beaux morceaux, de plusieurs milliers de francs pour les matériaux susceptibles de servir à l'ornementation.

Un autre minerai est la **cryolite**, fabriqué industriellement, et dont il existe un gisement au Groënland (2000 tonnes par an).

Chlore.

Le Chlore joue un grand rôle dans l'industrie, à l'état de Chlore, d'acide chlorhydrique, de chlorites, de chlorure de sodium ou de potassium.

Le Chlore, obtenu à l'état gazeux ou liquide, sert à la fabrication des chlorites, des hypochlorites, au traitement de certains minerais d'or, à des réactions de chimie organiqu

L'acide chlorhydrique sert à la fabrication des chlorures, à l'extraction de la gélatine des os.

L'emploi des chlorures décolorants (hypochlorites) est dû à l'affinité du chlore pour l'Hydrogène, qui en fait un oxydant énergique en présence des substances organiques.

En pratique tout le Chlore utilisé dans l'industrie vient d'un seul minerai, le Chlorure de sodium.

Brôme.

Le Brôme a deux usages; en photographie ($AgBr$), en thérapeutique (bromure de potassium, bromhydrate de quinine, etc...) Il joue aussi quelquefois le rôle d'oxydant et de désinfectant.

On l'a longtemps retiré des varechs et des eaux-mères de marais salants; cette industrie a presque complètement disparu (5 tonnes en France). Le Brôme vient maintenant à peu près exclusivement des gisements potassiques du Stassfurt (300 tonnes par an) et des Etats-Unis (500 tonnes), où on traite des eaux-mères de salines.

Le prix a beaucoup baissé (70 fr. le kilo en 1870 - jusqu'à 3 fr. - Il a tendance à remonter vers 6 fr.)

Iode

L'Iode a des usages analogues en photographie, en thérapeutique, pour l'extraction de l'Or, pour la fabrication de certains **iodures** (iodures d'éthyle, de méthyle, etc..)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On continue à l'extraire des matières végétales, cendres de varech, etc. (125 t. en Ecosse, Irlande, 35 t. en France, 15 t. en Norvège, etc ...) On le trouve également dans les nitrates du Chili (production 0 jusqu'en 1885, 600 t. en 1893, tend à baisser, à cause de la consommation limitée du monde, vers 200 à 300 t.). Le prix est variable (36 fr. en 1890; 20 fr. actuellement). L'industrie des cendres de varech ne peut subsister en face de celle du Chili que grâce à l'existence d'un droit de douane de 5 fr. par tonne.

Conditions géologiques de gisement.

Les métalloïdes de cette famille ont joué un rôle important comme minéralisateurs. Les fumerolles les plus chaudes sont constituées par des fluorures et des chlorures. Il en est quelquefois resté des traces dans les minéraux, mais leur proportion reste infime; car les fluorures, chlorures, etc..., très solubles, sont enlevés par les eaux, sauf $CaFl_2$ (fluorine) insoluble. Les chlorures, bromures, iodures sont entraînés très facilement; ils ont passé peu à peu dans les eaux des rivières, puis de la mer. On peut donc admettre que les actions géologiques aient pour but d'augmenter le pourcentage des eaux marines en chlore. La contre-partie, l'évaporation et la concentration dans les salines, ne joue qu'un rôle relativement infime.

Malgré la disparition de la plupart des fluorures, chlorures, etc.., leur action dans les roches n'est pas purement hypothétique, car on trouve encore quelques-unes de leurs traces.

La *fluorine* est très fréquente; on l'a considérée autrefois comme due uniquement aux phénomènes volcaniques; mais elle est susceptible de subir des remaniements secondaires. On connaît en outre la *cryolite*, et de nombreux minéraux contiennent du Fluor en quantité plus ou moins importante. *L'apatite* est un fluo-phosphate (quelquefois un chloro-phosphate) contenant 5 à 7 % de Fluor; elle montre d'ailleurs la fixation du Fluor. Carnot a démontré que les os du sol se chargeaient peu à peu en Fluor et en a même tiré un procédé de mesure approximative du temps géologique d'après la teneur en Fluor. *L'amblygonite*, la *wagnérite* contiennent jusqu'à 8 et 10 % de Fluor. On en trouve également 1 à 5 % dans certains micas (*lépidolite*, etc..), dans la *phlogopite*, la *topaze*, l'*émeraude*, la *tourmaline*. Le fait est intéressant, car la synthèse de ces minéraux a été obtenue par l'action des fluorures et n'a pu être obtenue que par leur action.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les traces de Chlore dans les minéraux sont plus fréquentes qu'on ne le croit au premier abord. A l'analyse, beaucoup de roches donnent un louche avec le chlorure d'argent; elles contiennent donc un peu de chlore. Les inclusions liquides contiennent fréquemment certains cristaux de Chlorure de Sodium. On a émis l'hypothèse que le Chlore des émanations volcaniques était le résultat du remaniement du Chlore contenu dans les roches de profondeur.

Le Brome et l'Iode sont en beaucoup moins grande quantité, ainsi que le montre leur faible proportion dans l'eau de mer. Leurs sels sont extrêmement solubles, souvent même déliquescents. Il est donc très difficile de les mettre en évidence. — Il faut noter d'ailleurs que les Chlorures, Bromures, Iodures, que l'on trouve souvent à la surface des gisements métallifères, sont dûs à des transformations secondaires dues à l'action des eaux de surface et ne sont aucunement en rapport avec les conditions originelles.

Gisements de Fluorine

La fluorine est très fréquente dans le Massif Central, les Vosges, la Bohême; elle y forme de petites veinules où elle est associée avec la barytine et le quartz. Elle n'y joue aucun rôle industriel.

Les filons importants se rattachent à :

I - Gisements stannifères où l'on trouve parfois aussi de la cryolite, de la tourmaline, de la topaze.

II - Gisements pyriteux. — Il y a là association avec l'Hématite et les oxydes de manganèse; ceux-ci se transforment souvent en psilomélane.

III - Filons de plomb. — On en connait où la fluorine est souvent plus développée que la galène et où la concession de cette dernière n'est qu'un prétexte à l'exploitation de la fluorine. Les filons ont quelquefois 2 m. de large. (Brioude, Rouniga dans les Pyrénées, etc...) Il faut citer aussi les mines anglaises, ayant donné jusqu'à 40.000 tonnes par an, du Derbyshire et du Cumberland, de la chaîne pennine. Là, dans les "Mountain Lime tones" (calcaires dinantiens), on trouve souvent des grottes naturelles le long des filons et aussi des vides artificiels, dûs à des exploitations antiques. Dans tous ces vides, ont cristallisé des stalactites de fluorine. Il y a donc eu incontestablement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

des phénomènes de remise en mouvement, à des époques tout à fait récentes. C'est cette fluorine qui est presque exclusivement employée pour l'ornementation.

IV. Filons d'Or. – On trouve souvent dans les auréoles de contact des roches sodiques (syénites néphéliniques, etc..) des fluorures et des filons d'or (avec tellurures et fluorures), par exemple à Cripple Creek dans le Colorado.

Les conditions requises pour la fluorine (couleur blanche, pureté en silice) limitent beaucoup le nombre des gisements susceptibles de la produire.

Gisements de Cryolite

La Cryolite est un minerai blanc et lourd.

Il en existe de très rares gisements, ayant un intérêt théorique à Miask, dans l'Oural, dans le Colorado, etc.

Il n'y en a qu'un seul qui ait un intérêt industriel, celui d'Evigtok dans le Groënland. Le gouvernement danois arme tous les ans une expédition pour aller l'exploiter pendant la bonne saison. Ce gisement est situé dans un massif de granite, au milieu duquel se trouve un filon de pegmatite : la cryolite se présente comme un accident minéralogique de cette pegmatite ; elle y est associée à de la cassitérite, du wolfram, du bismuth, de la pyrite ; elle a donc tous les caractères des gisements stannifères. On y trouve en outre toute une série de minéraux rares : la columbite, la molybdénite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Famille du Soufre, du Sélénium, du Tellure.

Soufre

Le *Soufre* a de nombreux usages; le plus important est la fabrication de l'acide sulfurique. L'importance de ce dernier produit est si grande qu'on a pu dire que le degré de civilisation industrielle d'un pays se mesurait à sa consommation en acide sulfurique. Celui-ci a en effet de nombreuses applications.

Le Soufre a encore quelques autres applications: le soufrage des vignes, la composition de la poudre et des produits pyrotechniques, des allumettes, le blanchîment de la paille, de la laine, le scellement du Fer dans la pierre, la fabrication de chlorure de soufre, du sulfure de carbone (vulcanisation du caoutchouc), de l'hydrogène sulfuré, etc...

Le prix du soufre était de 200 fr. la tonne en 1890; il a baissé à 140 fr. en 1895; il est remonté à 190 fr. en 1900.

L'Hydrogène sulfuré est surtout employé pour l'analyse chimique.

Le sulfure de carbone se prépare en faisant passer de la vapeur de soufre sur du coke. Il sert à la vulcanisation du caoutchouc, à la fabrication d'huiles essentielles, de parfums, etc... On en consomme rien qu'en France 5000 tonnes, valant 500 fr.

On consomme par an 2 millions, peut être 3 millions de tonnes d'acide sulfurique (900.000 t. en Allemagne, à peu près autant en France). L'industrie des superphosphates absorbe 50 % de cette consommation; celle du raffinage du pétrole 30 %.

Il y a deux catégories de minerais: le soufre natif et les pyrites.

Pendant longtemps, les seuls gisements de *Soufre natif* furent ceux de Sicile qui avaient ainsi un véritable monopole. Le soufre se vendait fort cher. Quand Leblanc découvrit son procédé de fabrication de la soude, le besoin de soufre devint très grand et les producteurs se coalisèrent en 1835 pour en tripler le prix du jour au lendemain. Deux ans après, Perret trouvait le moyen d'extraire l'acide sulfurique des pyrites. Le procédé fut immédiatement appliqué en Scandinavie, en Vénétie, dans le sud de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

l'Espagne, en France, etc... Une crise s'en suivit sur le soufre natif. Puis un modus vivendi s'établit.

La Sicile gardait le monopole pour les industries autres que celles de l'Acide sulfurique et pour celles-là même quand il fallait un acide exempt d'Arsenic. De plus, la Sicile fournissait la plus grande partie du Soufre nécessaire aux Etats-Unis, celui-ci arrivant par mer aux Etats industriels de l'Est plus économiquement que la pyrite venant des Etats miniers de l'Ouest.

La découverte des gisements de Louisiane, qui alimentent désormais le marché industriel américain, ont amené une crise en Sicile. Elle a été accentuée par l'intervention de l'Etat italien qui, pour essayer de maintenir les prix, a monopolisé le commerce. La spéculation ne fut pas heureuse. Elle a eu pour effet d'accumuler en Sicile de gros stocks de soufre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisements de Soufre

Les gisements de soufre appartiennent à 3 types :

1 - Les solfatares

2 - Les solfares

3 - Les gisements de pyrite.

1. Solfatares.

Les solfatares sont constituées par des efflorescences de soufre dans les régions volcaniques. Ces dépôts sont produits par décomposition de l'hydrogène sulfuré sur les roches volcaniques.

Ces gisements n'ont aucun intérêt pratique. On en rencontre en Islande, au Japon, au Chili. Au Mexique, au fond du cratère du Popocatepetl se forme une faible quantité de soufre, qu'on exploite d'une manière rudimentaire.

2. Solfares.

Les solfares se trouvent dans deux régions du globe.

1° La Sicile et une partie de l'Italie,

2° La Louisiane, dont les gisements sont exploités depuis peu de temps.

Ces deux gisements sont d'âge tertiaire.

On trouve en outre quelques gisements de ce type sans intérêt pratique dans le Permien de Russie.

a. Gisements de Sicile.

Ils forment une ligne de Catane à Girgenti; ils ont été exploités depuis l'époque romaine jusqu'à nos jours par des procédés rudimentaires, en général par des descenderies dans la couche riche.

Le soufre se trouve souvent dans des calcaires corrodés (Brisciale). L'ensemble de la formation appartient au Pliocène (Pontien). La série sédimentaire est la suivante de haut en bas.

5. Tripoli; d'origine lagunaire avec lignites et fossiles d'eau douce.
4. Formation saumâtre dite sulfogypseuse contenant le soufre, avec argiles non gypseuses dites tufs, et grès fins, noirs micacés.
3. Dépôt de tripoli (lacustre) à lignites.
2. Bancs d'argile bitumineuse, lacustre.
1. Calcaire marneux saumâtre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On a donc une formation nettement lagunaire avec intercalations saumâtres et traces nombreuses de la vie organique.

Tous ces terrains ont été fortement bouleversés par des failles. Les gisements de soufre sont en relation directe avec les dépôts de sulfate de calcium (gypse); ils consistent donc essentiellement en calcaires imprégnés de soufre, qui a disparu à la surface en laissant de nombreuses vacuoles: c'est le "briscale". Ces gisements n'ont donc aucun rapport avec l'activité volcanique: ce sont des dépôts de gypse, réduits postérieurement à leur formation.

On rencontre le soufre sous forme de petits lits inclus dans le calcaire. Ils sont plus ou moins rapprochés, et la teneur moyenne donne lieu à trois classes industrielles de produits.

1 - Stérile : 0 à 8 % S

2 - Minerai de soufre : 8 à 40 % S ; moyenne 24 %

3 - Soufre natif : plus de 40 % S.

La teneur moyenne de 24 % correspond exactement au rapport entre les équivalents du soufre et du carbonate de calcium. On a remarqué que ce chiffre correspond exactement aussi à celui que donne le calcul des réactions chimiques en supposant que le sulfate de calcium ait donné du sulfure de calcium CaS, qui se serait ensuite transformé en polysulfure CaS_n, puis décomposé par l'action de l'acide carbonique en S et Co_3Ca.

Mais il faut remarquer que dans d'autres gisements du même type (Louisiane, Abruzzes) le pourcentage moyen du soufre est tout différent et souvent plus fort. Le soufre se présente en outre fréquemment sous forme de soufre natif, bien cristallisé en géodes, accompagné de célestine : il s'agit probablement d'une recristallisation, bien postérieure au dépôt, du soufre disséminé dans la masse.

Il semble donc qu'il y ait eu, à l'époque sulfogypseuse, dépôt de gypse dans des lagunes saumâtres, comme dans le bassin de Paris; puis réduction par des hydrocarbures, venus probablement des terrains sous-jacents. On a tenté d'attribuer l'origine de ces hydrocarbures à l'activité volcanique, qui se manifeste en effet en dernière phase par la venue de fumerolles hydrocarburées. On les a rattachées à l'éruption de volcans de boue (Macalubes de la région de Girgenti); mais l'origine de ceux-ci est elle-même problématique, encaissés dans la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

formation des minerais de soufre. Il semble bien que l'origine de ces hydrocarbures soit purement sédimentaire.

Une autre caractéristique est la fréquence de la strontiane dans les gisements de soufre siciliens : célestine en rognons et, de plus, 3 à 4 % de strontiane disséminée dans les calcaires. La présence de sulfate de strontium, de barium, etc. dans les masses gypseuses n'a d'ailleurs rien d'exceptionnel.

L'exploitation est très rudimentaire ; elle ne s'est guère modifiée depuis l'époque romaine ; cet état est dû principalement au grand morcellement des terrains exploités par leurs propriétaires. De plus les travaux anciens gênent considérablement les nouveaux et font échouer toutes les prévisions concernant la richesse des couches.

Quelques exploitations ont commencé des travaux avec équipement moderne.

L'industrie soufrière de Sicile est actuellement en fort mauvaise position: la découverte des gisements de Louisiane leur a fermé à peu près complètement le débouché américain. De plus, les petits propriétaires traitent leur minerai au moment de la belle saison, et jettent tout leur soufre tout en même temps sur le marché, d'où une baisse momentanée à leur détriment. Le gouvernement italien a tenté d'enrayer la crise en établissant le monopole de l'achat aux propriétaires et de la vente à l'intérieur. Cette mesure audacieuse ne donne pas actuellement de bons résultats : ces stocks s'accumulent chaque année : alors que la production annuelle est de 300 000 T, les stocks ont été de :

220 000 T en 1900
400 000 T en 1904
600 000 T en 1908

On a extrait jusqu'ici environ 20 millions de tonnes depuis l'époque romaine ; on estime qu'on en a perdu 7 à 8 millions dans les travaux et qu'il en reste encore 40 millions. Le gisement aurait donc contenu primitivement au total 70 millions de tonnes. Il y a en outre une grande quantité de minerais pauvres.

En Romagne, en Calabre il y a des gisements analogues.

b). Gisements de la Louisiane.

Ils sont connus depuis peu de temps et ils ne sont exploités que depuis

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

1903. Ils se trouvent près du Golfe du Mexique, dans la Louisiane près de la frontière du Texas, à 370 kil. de la Nouvelle-Orléans, qui est le port d'embarquement.

Leur âge est tertiaire, probablement miocène.

Le gisement se trouve dans des couches gypseuses recouvertes par 10 m. de calcaires caverneux et 50 m. de sables aquifères en communication avec l'Océan. La présence de ceux-ci ont considérablement gêné l'exploitation au début.

L'exploitation est toute particulière; les tentatives d'exploitation par puits ayant échoué à cause de l'énorme masse sus-jacente de sables aquifères, on exploite actuellement par sondages, comme pour certains gisements de sel gemme. On fait descendre dans un tube de la vapeur d'eau sous 7 atmosphères, se trouvant par suite à la température de 136° à laquelle le soufre fond; liquide, il monte alors dans l'enveloppe annulaire du tube de sondage et arrive à la surface où il coule et peut être mis en pain sans raffinage préalable. Le procédé très ingénieux a présenté quelques difficultés de réalisation au début; mais il marche maintenant sans difficulté avec une dépense d'énergie assez considérable, fournie d'ailleurs à bon marché par le pétrole du Texas qui est à proximité.

Le prix de revient est de 18 fr. 50 la tonne. Le frêt jusqu'à l'Europe étant de 15 fr., le prix y est de 35 fr. à 36 fr. Le soufre de la Louisiane ne concurrencie néanmoins pas le soufre de Sicile, car la totalité de la production est absorbée par les Etats-Unis eux-mêmes.

3. - Gisements de pyrite.

Ces gisements n'ont pu recevoir d'utilisation que depuis l'utilisation des pyrites dans la fabrication de l'acide sulfurique. On en trouve en France, en Norvège, en Vénétie, dans le Sud de l'Espagne et du Portugal. Les gisements sont exploités tantôt pour leur soufre seul, tantôt pour leur soufre et leur cuivre, tantôt enfin pour leur soufre et leur or.

Les gisements de pyrite cuivreux seront étudiés à propos du cuivre.

Le monde produit actuellement environ 1.800.000 tonnes de pyrites qui représentent environ 850.000 tx de soufre. Il en vient 280.000 de France (Saint Bel) 270.000 de Norvège, à peu près autant d'Espagne, 219.000 d'Allemagne (Rammelsberg), 210.000 des Etats-Unis, 132.000 d'Italie. Il faut noter en outre que l'on consomme actuellement beaucoup d'anciennes pyrites, autrefois lavées pour cuivre, qui

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

s'étaient accumulées dans les haldes du Sud de l'Espagne.

d) Filons de pyrite

La pyrite de fer a cristallisé dans les terrains sédimentaires sous forme d'imprégnations diffuses et dans des filons proprement dits. Mais les résultats fructueux s'obtiennent seulement sur les grosses lentilles d'exploitation facile. L'existence de ces deux formes de gisements est caractérisée à la surface par l'existence d'un chapeau de fer très développé.

Gisements de Toscane.

Ils se trouvent dans un système de massifs de terrains primaires et tertiaires, fracturés à l'époque tertiaire et formant une série de horsts et de failles, à allure à peu près N.S. avec fractures transversales.

Ces fractures ont subi une minéralisation dûe à des sulfures divers (blende, pyrite, stibine, cinabre, etc.)

L'exploitation remonte à une haute antiquité; on trouve dans le pays des centaines de petits puits. Les anciens exploitaient la Galène et le Cinabre, et ont laissé la Pyrite et la Blende qui forment actuellement des gisements importants.

On peut citer comme principaux gites, Boccheggiano grand filon faille avec quartz et pyrite, avec des zônes d'oxydation et de cémentation bien caractérisées. Gavorrano, moins important au point de vue industriel, mais très intéressant

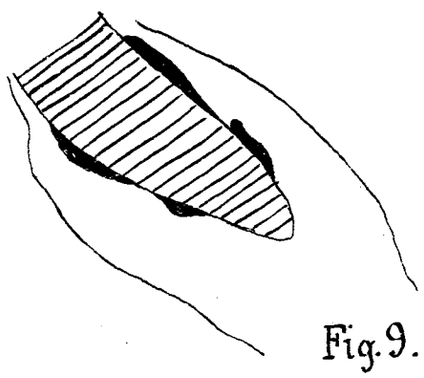


Fig. 9.

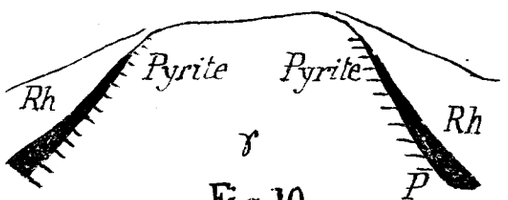


Fig. 10.

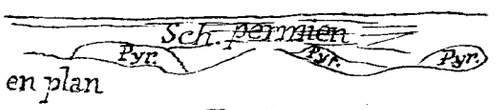


Fig. 11.

au point de vue géologique.

Au milieu de l'Eocène, se trouve un affleurement de terrains plus anciens avec un pointement granitique; celui-ci est accompagné d'îlots permiens au-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

delà desquels se trouvent du Trias puis du Lias. Les deux zônes de contact sont très pyriteuses. Le granite est probablement d'âge tertiaire et sa minéralisation semble être en relation avec sa venue. La pyrite de Gavorrano est entièrement cristallisée en grands cubes enchevêtrés, ayant jusqu'à 4 cm de côté, qui donnent aux galeries un aspect tout particulier. C'est donc un gîte de départ filonien.

β. - Amas

Ce type est le plus habituel. Le minerai doit être pur sans arsenic, ni fluorine, ni carbonate de chaux. Ces conditions sont réalisées moins fréquemment qu'on pourrait le croire; il n'existe guère qu'un gisement où elle se trouvent réunies, c'est celui de Sain-Bel qui constitue l'amas type.

Ce gisement se trouve dans la zône qui forme la bordure S.E. du Plateau Central, en allant de Lyon vers Alais. On observe là toute une série de dislocations jalonnant la vallée du Rhône, avec des failles nombreuses minéralisées : galène, blende, calamine et pyrite. Mais les amas de pyrite ne sont pas sur la zône des failles; ils sont en rapport avec un phénomène différent. Il existe une bande cristallophyllienne : schistes, chloritoschistes, schistes à amphibole en contact avec le granite et recouverte par le Trias et le Jurassique. Le tout a été disloqué par les mouvements de l'époque tertiaire. - La zône de Sain-Bel s'observe sur une assez grande longueur et offre des types très différents.

I. - En partant du Nord, on rencontre un premier type déjà connu vers le XV^{e} siècle : celui de Chessy, exploité activement par Jacques Cœur; les travaux se poursuivaient encore en 1833. Il s'agit là d'un gisement de cuivre proprement dit : poche où la chessylite (carbonate bleu) se rencontre en géodes. La pyrite était cuprifère, mais l'exploitation est restée toujours dans la zône de cémentation.

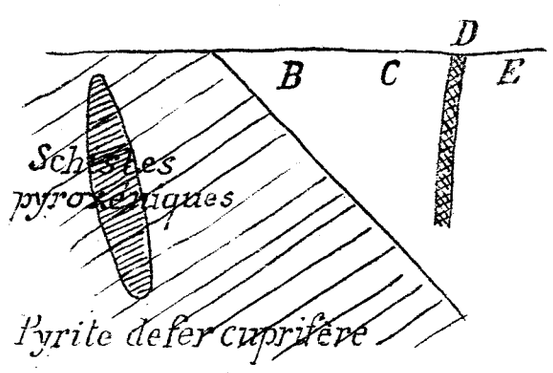


Fig. 12.

Le long du contact des schistes pyroxéniques, on observait la présence d'une brèche. Puis dans le Rhétien, en B, on a rencontré des oxydes de cuivre, noirs, constituant la "Mine Noire". - En C, la "Mine Grise". - En D, on a trouvé une veine verticale.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

formée de cuprite mélangée à de l'argile rouge d'où le nom de "Mine Rouge".- Enfin, en E, on a rencontré la Chrysolite.

Il s'agit en somme de débris de gisements pyriteux, repris, remaniés et modifiés dans la région faillée, sans qu'il en existe une notion précise sur l'âge de la veine métallifère originelle.

II.- Au sud de ce gisement, on rencontre la zône pyriteuse proprement dite ou zône de Sain-Bel. La coupe ci-contre (fig. 13) indique l'allure du gisement et l'aspect de la section des deux éléments les plus importants du gîte.- Vers le Nord il existe d'abord une série de petits filons cuivreux, inexploités; on trouve ensuite la masse du Pigeonnier qui contient un peu de cuivre, puis la lentille Saint Gobain dont on voit bien le coincement vers la partie supérieure.

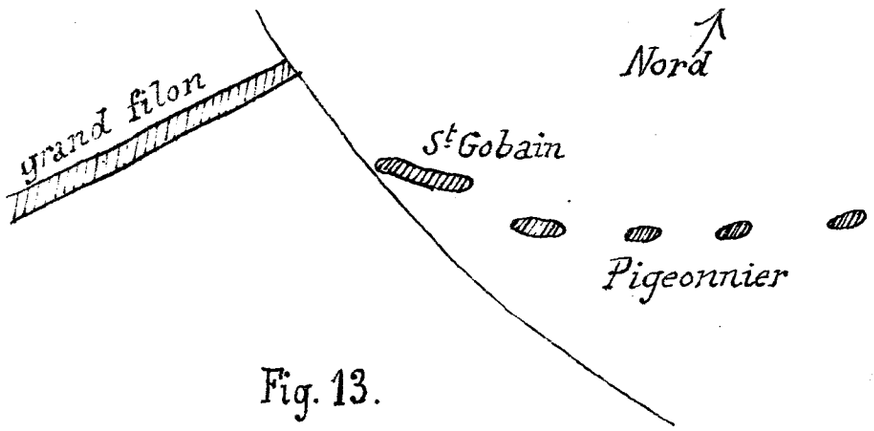


Fig. 13.

Ensuite vient le grand filon, qui contient de la pyrite très pure; il est très réduit en surface; on a constaté son prolongement en profondeur jusqu'à une assez grande distance, mais il est probable qu'il doit disparaître comme cela a été constaté pour la masse du Pigeonnier (fig. 14). La plupart des exploitations actuelles portent sur le grand filon.

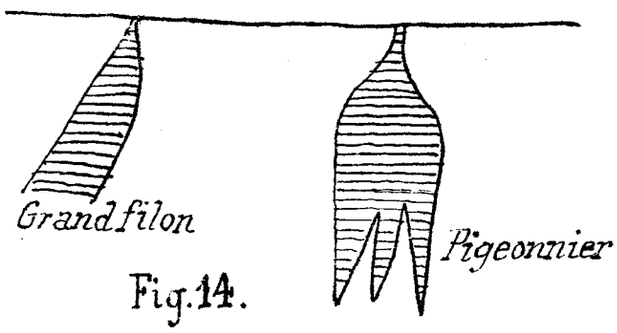


Fig. 14.

Dimensions des gisements.

Le tableau ci-après indique les dimensions des principaux gisements par ordre d'importance.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

		Longueur	Largeur	Section horizontale	Cubage	Cubage primitif présumé
Rio Tinto (Espagne)	1	1000	150	65.000	200 millions	400 millions
	2	1100	180	60.000		
	3	300	100	25.000		
Tharsis		1000 à 250	120 à 20	100.000	30 millions	70 millions
Falun (Suède)		400	75	13.000	20 — " —	
Sain-Bel (France)		1300	44	12.000	13 — " —	
Aguas Tenidas (Sud de l'Espagne)		.....	.....	.....	3 — " —	
Foldal (Norwège)		.....	.....	.....	3 — " —	
Röros (Norwège)		.....	.....	.....	2 à 3 — " —	
Agordo (Vénétie)		.....	.....	.....	0,9 — " —	

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Carbone

Le Carbone est l'un des éléments minéralogiques essentiels et entre dans la constitution de beaucoup de substances utiles.

Classification

1° Carbone pur : diamant, graphite.

2° Combustibles : Tourbe, lignite, houille, anthracite, schistes bitumineux, hydrocarbures, pétrole, gaz combustibles.

3° Série des composés formés par incorporation de matières hydrocarburées dans les terrains. C'est le cas des schistes bitumineux (incorporation dans des schistes) et de l'asphalte (incorporation dans un calcaire).

Graphite.

Le Graphite, appelé aussi mine de Plomb ou plombagine, a été longtemps confondu avec la molybdénite et la galène ; jusqu'en 1830, on ne connaissait pas exactement sa composition. Le graphite est en réalité simplement du carbone, contenant une proportion plus ou moins grande d'impuretés ; la proportion du carbone est 96 % en Sibérie ; 90 % à Ceylan ; 40 à 50 % en Moravie et en Bohême ; la teneur du carbone descend jusqu'à 20 % dans certains schistes graphiteux.

On distingue dans le graphite deux variétés principales, par l'action du mélange d'acide nitrique fumant et du chlorate de potasse. Le graphite foisonnant se reproduit artificiellement en dissolvant du Carbone dans des minerais fondus (Platine, fonte). Il se retrouve dans la nature quand des conditions analogues paraissent s'être produites, comme à Kimberley. En chauffant, il se transforme en oxyde de graphitique jaune, puis à 300° en acide pyrographitique. Le graphite non foisonnant se trouve dans les gisements de Sibérie, dans les roches pegmatoïdes de l'Ardèche, dans des granits de métamorphisme ; il s'obtient artificiellement par la volatilisation du Carbone à l'arc électrique.

Usages. — Les usages du graphite sont dus à sa structure lamellaire et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

à sa nature réfractaire. Les lamelles minces de clivage se détachent et laissent une trace sur le papier (d'où l'usage pour les crayons); elles miroitent à la lumière d'un éclat métallique (d'où l'usage pour les miroirs). — Une certaine plasticité permet de l'utiliser pour la fabrication des creusets, servant à des fusions à haute température, pour enduire des moules de fonderie. Le graphite sert aussi comme lubréfiant, cambouis, etc. Les variétés très pures, grenues, servent à fabriquer des crayons; mais généralement on utilise à cet usage des poussières de graphite qu'on agglomère ensuite. On se sert, pour la fabrication des creusets réfractaires, des variétés écailleuses qui ne contiennent aucune impureté fusible (pas de chaux, pas de fer).

Statistique. — La valeur du graphite est très variable, depuis 600 à 700 francs jusqu'à 450 fr. (variétés courantes), jusqu'à 300 à 400 fr. (Raffinades pour moules de fonderie, creusets, etc.) et même jusqu'à 50 francs.

La production du graphite peut être d'ailleurs concurrencée par le graphite artificiel, obtenu en chauffant des cendres dans une chambre à l'arc électrique; on obtient d'abord du carborundum, puis du graphite pur. Ce graphite sert aux usages électriques et fait concurrence aux variétés rares; mais celles-ci conservent leur valeur.

La production serait : 1907

Ceylan (bonne qualité)	36 000 tonnes	à 456 fr. en moyenne
Autriche, Bavière (qualité inférieure)	49 000 tonnes	à 50 fr. environ
Italie (Piémont)	11 000	—
Etats-Unis	16 000	—
Canada	2 500	—

Modes de gisement.

I. — Graphite cristallisé en milieu basique. — Roches diamantifères du Cap avec graphite foisonnant; on s'est demandé si le graphite n'y était pas dû à la décomposition de carbures (Carbures d'Aluminium). Graphites des météorites.

II. — Graphite dans des roches acides. — Certaines pegmatites en contiennent jusqu'à 13 %. — On en trouve dans les monts Ilmen. — Le graphite de Ceylan forme de véritables filons en relation avec des pegmatites;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

on a soutenu que c'était un produit de métamorphisme de charbons contenus dans des roches sédimentaires. — Le graphite de Sibérie a actuellement une valeur industrielle nulle; on trouve, au voisinage du Baïkal, des syénites néphéliniques avec blocs de graphite très pur; on en a extrait autrefois de beaux échantillons, d'un haut prix, dont il semble encore exister un stock qui s'écoule lentement.

III. Graphite dans des gneiss et des terrains métamorphiques. — On trouve en Moravie et en Bavière du graphite, en veines dans la pegmatite, dans des conditions analogues à celles de Ceylan. Il y a eu certainement remaniement postérieur du graphite; mais l'origine première reste douteuse.

Dans le district de Passau, les gneiss contiennent au voisinage de massifs de gabbros (fig. 15) du graphite formant des lentilles, des paquets et quelquefois des zônes continues. Ils peuvent ainsi paraître généralement interstratifiés; mais on trouve parfois des poches de graphite (fig. 16) avec implantation de cristaux de graphite

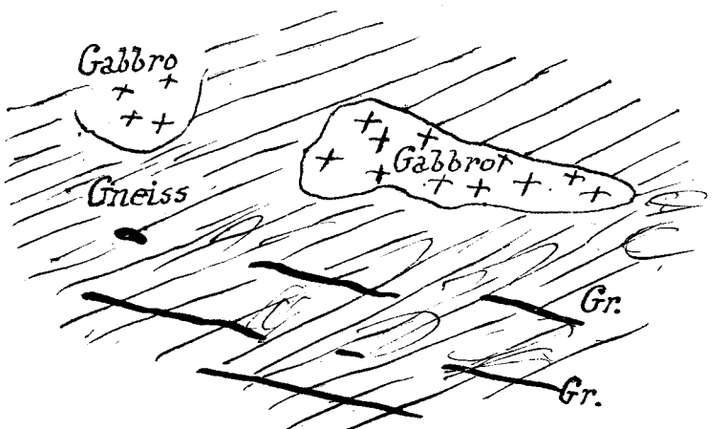


Fig. 15.

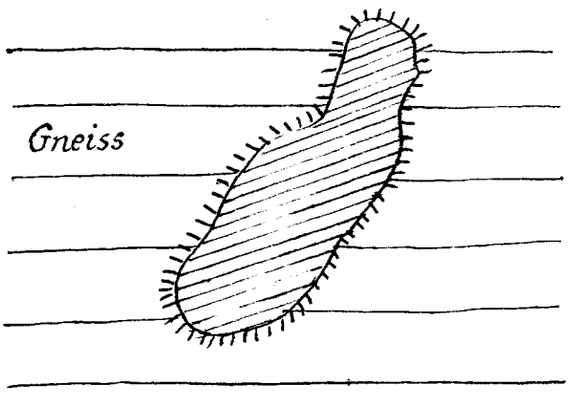


Fig 16.

perpendiculaire à la paroi.

IV. Graphite d'origine sédimentaire. — Dans le Piémont, l'origine sédimentaire du graphite n'est pas contestable; le graphite se trouve (fig. 17) à la limite des schistes et des calcaires; il y est accompagné de talc, dont la présence a été invoquée pour soutenir l'origine éruptive du graphite, mais qui peut fort bien aussi être dû à des phénomènes de remaniement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

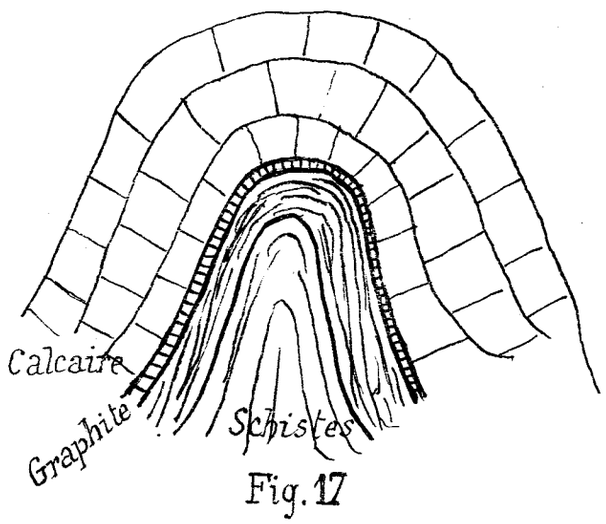


Fig. 17

Les gisements de graphite manquent en France ; il en existe cependant en plusieurs points de la Bretagne (dans le Morbihan), du Massif Central (Corrèze, Creuse, Haute-Vienne), dans les Alpes ; mais ils n'ont aucune valeur industrielle. Cependant des tentatives d'exploitations en ont été faites à diverses reprises dans les Alpes.

Diamant

Le diamant est employé en bijouterie, dans les sondages et la perforation mécanique. Le diamant provenait autrefois uniquement de l'Inde, puis, au XVIII^e^ siècle, on en découvrit au Brésil. A partir de 1870, la production du Sud de l'Afrique augmenta sans cesse et finit par supplanter presque complètement celle des autres gisements. La production du Brésil et de Bornéo est insignifiante à côté de la sienne.

Actuellement l'Afrique du Sud produit par an pour 90 à 100 millions de diamants bruts qui, une fois taillés, représentent une valeur commerciale cinq à dix fois plus grande. Le placement annuel, en de telles proportions, de cette substance exclusivement réservée à la parure est une véritable curiosité économique.

Comme les gisements du Brésil et de l'Inde, les gisements du Cap ont été trouvés dans des alluvions, qui furent tout d'abord seules exploitées. A l'heure actuelle les alluvions diamantifères ont presque complètement perdu de leur importance, sauf peut-être le long du Fleuve Orange et dans l'Ouest africain allemand (Süderitzbucht). Les gisements en place ont pris une place prédominante. Ils se trouvent dans des cheminées de roches diamantifères (blue-ground) ayant la forme de colonnes cylindriques à section horizontale elliptique. Les premières cheminées furent découvertes à Kimberley (groupe de Beers), puis à Prétoria (groupe Premier). Il faut en outre mentionner, comme producteurs de diamant, Jagersfontein (ancien Etat d'Orange) et la côte de l'Ouest

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

africain allemand. D'autres petites mines sont nombreuses et réparties un peu partout.

La teneur des mines les plus riches varie entre 0,50 et 1 carat ($\frac{1}{5}$ gramme) au load (le load ou wagonnet tient $\frac{1}{2}$ mètre cube).

Suivant le prix du carat brut, qui a varié de 33 francs en 1899 à 80 francs en 1907, et suivant la qualité du diamant, on exploite à des teneurs diverses jusqu'à un minimum de $\frac{1}{10}$ carat (3 fr.) au load. Les roches diamantifères, une fois extraites, sont exposées à l'air dans des champs (floors); elles s'y décomposent pendant 12 à 15 mois, pendant lesquels on les laboure et on les herse. On leur fait subir ensuite un traitement mécanique.

Le plus gros diamant trouvé (le Cullinan) pesait 3032 carats et mesurait 10 centimètres sur 6 1/4 et 3 3/4.

Conditions géologiques. — Les terrains de la région forment des assises horizontales, appartenant à l'étage du Karoo, découpées comme à l'emporte pièce par des cheminées à section elliptique. Ces cheminées ont rebroussé les couches avoisinantes et remonté des morceaux de roche encaissante. C'est ainsi qu'elles renferment des morceaux de granit qui se trouve en place à 200 mètres plus bas (fig. 18).

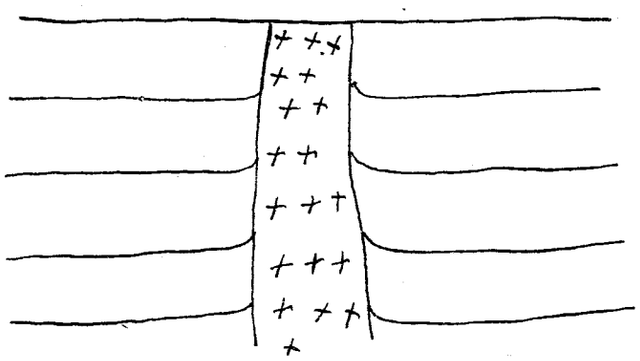


Fig. 18.

Le diamant paraît avoir cristallisé en profondeur dans des conditions analogues à celles qui a réalisées Moissan dans de la fonte en fusion sous pression et avoir été entraîné ensuite dans le mouvement ascensionnel de la péridotite.

Les autres types de gisements de l'Inde et du Brésil peuvent avoir une origine différente par cristallisation du carbone en milieu acide; car on a trouvé au Brésil du diamant englobé dans des itacolumites (quartzites) et même dans des quartz cristallisés.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Schistes bitumineux

Ils contiennent des hydrocarbures dans des conditions spéciales. Leur nom est d'ailleurs mauvais, car ils ne contiennent pas de bitume, mais des hydrocarbures donnant par distillation des huiles minérales.

Les schistes bitumineux sont exploités depuis très longtemps, bien avant le pétrole. On a commencé dès 1830 à Autun, puis ensuite en Ecosse et en Saxe. Ces trois districts ont continué leur exploitation. — Mais vers 1860 l'industrie des pétroles, de meilleure qualité et à meilleur marché, concurrença l'industrie des huiles: en France celle-ci ne vit plus que d'une façon artificielle (droits protecteurs, etc) et grâce à l'exploitation simultanée de mines de houille d'ailleurs médiocres.

La proportion d'essence est d'ailleurs variable; on trouve en moyenne, en volume, à Buxière-la-Grue (Allier) 5 à 7%, à Autun 7 à 8%, dans le Dorsetshire (Ecosse) 22%, 56% dans les Boghéads. Le traitement est très simple; on distille les schistes bitumineux dans des cornues verticales; les produits ammoniacaux se dégagent d'abord, puis les huiles d'éclairage et le goudron.

Les schistes bitumineux se trouvent dans plusieurs étages géologiques, coïncidant approximativement avec ceux où l'on trouve d'autres produits carburés: Dévonien (Mer Blanche et Sibérie), Silurien Dévonien (Etats-Unis, Canada), Permien et Tertiaire (Europe).

Les gisements d'âge permien dominent en France (Autun, Buxière-la-Grue). Les principales exploitations du Bassin d'Autun sont: Igornay, Saint-Léger-du-Bois, Dracy-Saint-Loup, La Connaille. Les schistes y alternent avec des couches de silex, à odeur fétide, contenant de nombreux fossiles (ces silex sont donc d'origine postérieure). — On y trouve de nombreux bois silicifiés. Les schistes bitumineux sont associés avec des schistes qui le sont moins, mais qui contiennent des Poissons et des Vertébrés bien étudiés. Leurs matières organiques ont probablement été l'origine des hydrocarbures. Ces sédiments permiens succèdent à ceux du Carbonifère supérieur (Stéphanien), qui ont été déposés dans des lacs avec des conglomérats grossiers; les couches se régularisent peu à peu et on passe progressivement au Permien. La Houille devient plus rare, la quantité de schistes bitumineux augmente. Le facies marin s'accentue; on finit par trouver des terrains

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

gypseux, déposés probablement dans des lagunes isolées. On peut ainsi penser que les schistes bitumineux proviennent de la décomposition de matières organiques dans des eaux très concentrées constituant une espèce de saumure.

Pétrole

Usages. — Le pétrole a de nombreuses applications industrielles qui augmentent de jour en jour (éclairage, chauffage, graissage). Les principales caractéristiques sont le point d'inflammabilité (température à laquelle les vapeurs qu'il donne sont susceptibles de s'enflammer), le point d'ignibilité (température à partir de laquelle il continue à brûler. Les réglements français défendent l'emploi de vapeurs susceptibles de s'enflammer au-dessous de 35°), la capillarité, qui permet au pétrole de s'élever dans les mèches de lampes, la densité, le pouvoir calorifique qui est très élevé, supérieur à celui des charbons à poids égal.

Cette dernière qualité est intéressante, surtout pour les navires. En Russie, on utilise à cet effet depuis 40 à 50 ans les mazouts ou résidus de pétrole.

Statistique. — Le développement de la consommation du pétrole pose la question de savoir si l'on pourra trouver du pétrole indéfiniment; la quantité en semble limitée, le prix est relativement élevé et aura probablement une tendance à monter encore.

Le pétrole montant de la profondeur et prenant souvent feu spontanément, on s'imagine parfois qu'il est d'origine éruptive — certaines théories confirment cette impression — et que les réserves en sont infinies. De plus les facilités d'exploitation font qu'on gâche beaucoup de pétrole, surtout dans les premiers temps de l'installation.

Mais un fait très suggestif est l'épuisement extrêmement rapide des gisements pétrolifères, exploités depuis 50 ans à peine. En Pensylvanie, il a fallu abaisser le niveau moyen et certains districts pétrolifères sont complètement épuisés; la production des Etats-Unis ne se maintient que grâce à la mise en œuvre de nouvelles régions pétrolifères, comme la Californie qui a pris un accroissement prodigieux avec des pétroles de très forte densité et qui fournit à elle seule aujourd'hui le tiers de la production

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

américaine. De même, au Caucase, il faut creuser de nouveaux puits plus profonds, ce qui augmente les frais; la proportion de puits inutiles croit constamment; des districts entiers disparaissent au point de vue pétrolifère; on en découvre en revanche de nouveaux; mais cela ne durera pas indéfiniment, parce que, dans la recherche du pétrole, l'attention est toujours attirée par des suintements de surface et qu'en réalité on connait depuis longtemps la plupart des gisements que l'on exploite.

Il est donc probable que le pétrole sera le premier minéral qui viendra à manquer à notre civilisation.

La production augmente d'ailleurs avec une grande rapidité. Aux Etats-Unis, en 1860, les puits fournissaient tellement de pétrole qu'on en laissa perdre une partie dans le lac Erié; mais bientôt les débouchés se créèrent. La production mondiale d'abord de 2 à 3000 barils par an, n'était en 1870 que de 720000 t. Elle a atteint 24.148.0 en 1900; 38.754.000 en 1908; 45.752.000 t en 1910. Cet accroissement a tenu à l'entrée en ligne de gites successifs dans les Etats-Unis, d'abord le bassin de Pensylvanie ou des Appalaches, puis sa zone extérieure, puis le Texas, le Colorado, la Californie.

Au Caucase on exploita d'abord Bakou, où il existait depuis un temps immémorial un temple du Feu et où les Persans obtenaient le pétrole en descendant dans des trous superficiels des couvertures de laine que l'on tordait ensuite. L'exploitation commença vers 1872-1873; elle se porte actuellement à l'autre extrémité du Caucase sur la Mer Noire (Maikop) et au centre de la chaîne (Grosny).

La Galicie exploita d'abord le pétrole par puits peu profonds; les résultats sont actuellement médiocres. La tendance actuelle est d'augmenter la profondeur jusqu'à 1300 m; on obtient ainsi à Boryslav et à Tustanovvice une qualité bien supérieure et une grande quantité.

En Roumanie il y a eu un grand développement de la région de Prahova.

En Alsace, où il existait avant 1870 des exploitations d'asphalte, l'industrie du pétrole s'est développée surtout à Pechelbronn. Des puits ont donné de bons résultats dans le Hanovre. Il existe aussi des gisements en Italie, en Birmanie, à Java, Sumatra [ceux-ci luttent (Dutch Oil Petrol Cy) avec ceux d'Amérique (Standard Oil Cy) sur les marchés d'Extrême-Orient], au Japon:

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Production du pétrole en milliers de tonnes.

	1904	1906	1908
Etats-Unis	16.055	17.862	24.401
Russie	10.059	8.168	7.654
Indes Orientales	956	1.187	2.348
Galicie	826	740	1.754
Roumanie	497	887	1.148
Inde	476	564	568
Divers	250	367	880
Total	29.119	29.775	38753

	1910	1914
Etats-Unis	29.586	35.435
Russie	8.953	8.936
Indes Orientales	1.700	1.628
Galicie	1.700	1.090 (1)
Roumanie	1.352	1.783
Inde	1.017	1.066
Divers	1.329	env. 2.862
Total	45.637	52.800

Géologie des gisements. — Il y a deux théories sur l'origine des pétroles ; l'une en vogue surtout chez les chimistes en soutient l'origine éruptive, l'autre soutenue par les géologues, en admet l'origine sédimentaire.

(1) Production de 1913

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La composition des pétroles est différente à Bakou et en Pensylvanie ; les pétroles de Pensylvanie sont des carbures saturés ou forméniques, tandis que les pétroles du Caucase sont, en grande partie, des pétroles non saturés, naphténiques ; mais quand on possède des analyses complètes, on constate qu'il y a dans l'un et l'autre cas les deux séries d'hydrocarbures ; surtout d'autres gisements, comme ceux de Galicie, Roumanie, etc. présentent tous les cas intermédiaires.

Les observations géologiques sont, au contraire, en faveur de l'origine sédimentaire. Les pétroles sont toujours associés à des eaux salées ; réciproquement quand on trouve du sel, on constate toujours des traces d'hydrocarbures. Comme l'origine sédimentaire du sel est indéniable, celle du pétrole est par suite également probable.

La seule objection est le mode de gisement du pétrole ; comme, en profondeur il est sous la pression des gaz, il cherche à monter dans des fissures, et à s'approcher des niveaux supérieurs ; si ceux-ci sont perméables, il s'y infiltre et forme une nouvelle nappe On a ainsi l'impression d'une montée éruptive.

Le Pétrole s'accumule généralement dans des strates gréseuses ou sableuses à la base de couches schisteuses imperméables (fig. 19) ; sa quantité dépend des qualités des roches encaissantes. Si les alternances de grès et de schistes sont épaisses et régulières, le gisement est bon ; si elles sont peu épaisses quoique régulières, on ne trouve aucun gisement sérieux ; enfin si l'on a affaire à des grès compacts, fissurés, recouverts par un toit de schiste, les apparences sont belles et les résultats industriels médiocres. Si au lieu d'être horizontales, les couches sont ondulées, il y a plus de chances de trouver du pétrole sur les <u>axes anticlinaux</u> (fig. 20). Cela peut s'expliquer par l'action de la pression sur le pétrole par les gaz qu'il dégage, le pétrole tendant ainsi toujours à monter. De plus la couche pétrolifère s'atteint à une profondeur moins grande sur les anticlinaux que sur les synclinaux.

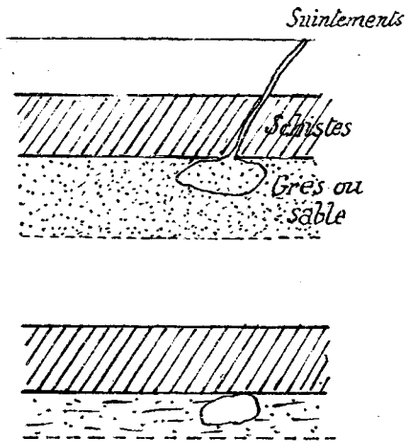


Fig. 19.

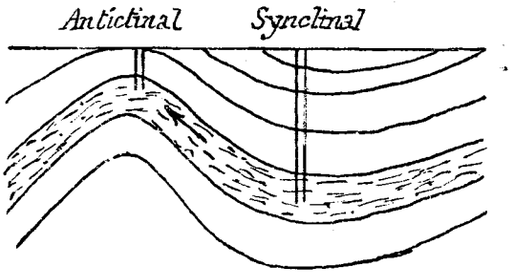


Fig. 20.

La plupart du temps il existe dans les

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

régions pétrolifères plusieurs niveaux successifs (fig. 19): le plus élevé donne quelquefois lieu à des suintements à travers les fissures. Les sondages vont à la première nappe chercher le pétrole qui forme une sorte de lentille et s'y trouve en quantité limitée.

Chaque puits détermine le drainage de la région immédiatement voisine et un puits nouveau trop rapproché donne toujours de mauvais résultats. Aussi place-t-on les puits en damier jusqu'à 50 m. les uns des autres. Au bout d'un certain temps, les puits, qui d'abord jaillissent et ont fourni de véritables torrents de pétrole, s'épuisent; il faut alors pomper (en Pensylvanie on doit pomper dès le début); puis l'épuisement devient complet. On a alors quelquefois de bons résultats en faisant exploser une cartouche de dynamite au fond du puits; les couches voisines sont désorganisées, fissurées et du pétrole arrive par les fissures nouvelles. Le procédé est parfois interdit. Dans la plupart des cas, il est nécessaire d'approfondir et d'aller chercher une autre nappe plus profonde, quelquefois à plus de 100 m. (les sondeurs se sont souvent découragés et ont abandonné; plus tard, on a repris la question). A mesure que l'on descend, on trouve très souvent une huile plus légère; presque à chaque niveau poreux, on rencontre un niveau de pétrole; il est donc probable que le pétrole ne se trouve pas à sa place primitive, mais provient dans chaque région d'un ou plusieurs niveaux profonds, à partir desquels il s'est élevé anciennement ou tend à s'élever encore. On constate d'ailleurs que le rendement moyen des puits s'accroît souvent, dans les grands niveaux pétrolifères, au fur et à mesure que l'on descend.

Il y a de grandes différences au point de vue de la qualité entre les diverses régions pétrolifères. En Pensylvanie, on trouve des niveaux parfaitement repérés et réguliers, et on peut faire des puits presque avec certitude de succès; l'huile y est de qualité supérieure. A Bakou, des sondages très voisins atteignent le pétrole à des niveaux très différents; cela tient à ce qu'il se trouve dans des alternances irrégulières d'argiles et de sables, comme celles déposées par des courants fluviatiles; de plus le pétrole y est beaucoup plus près de la surface et y est chargé en produits lourds.

I. – Pétroles américains. – On trouve en Amérique du pétrole sur tout le bord de la plate-forme primitive. (Voir la carte fig. 21)

Il en existe de plus dans l'Ouest, au Wyoming, au Colorado et en

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Californie; celui-ci contraste absolument avec les précédents; il se trouve dans les terrains crétacés ou tertiaires et a d'ailleurs une constitution très différente.

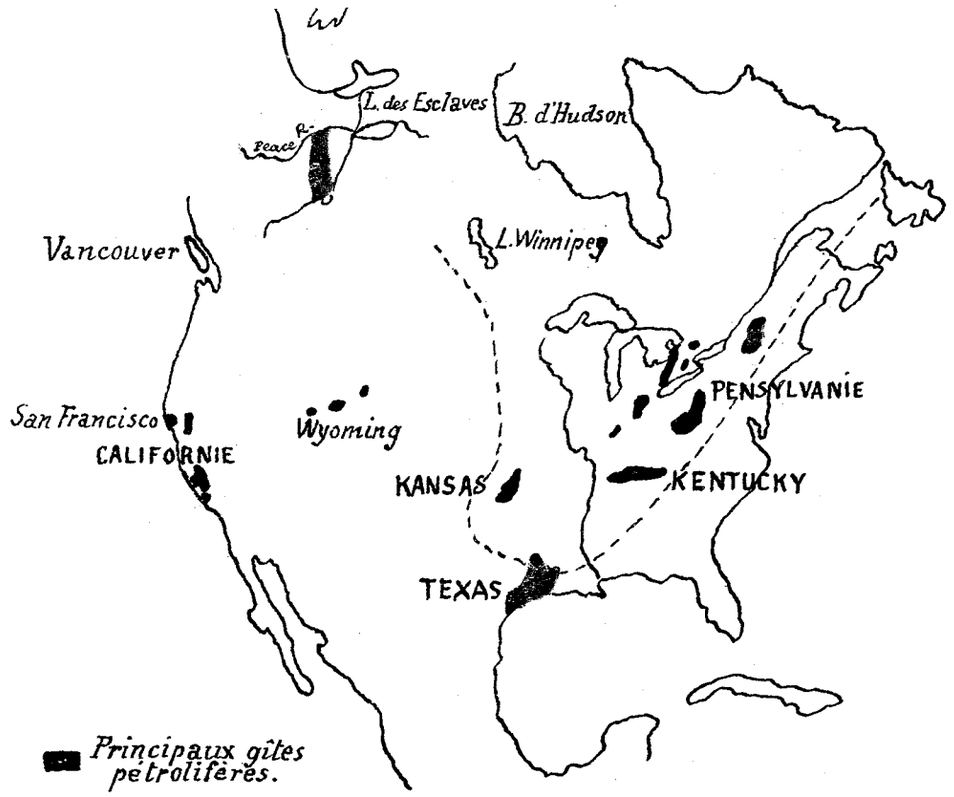


Fig. 21.

Carte schématique des gîtes pétrolifères des Etats-Unis.

En Pensylvanie, on trouve une série de districts ou zônes pétrolifères dirigées N.E - S.O parallèlement aux plis des Appalaches

La coupe générale schématique du continent américain est représentée fig. 22. La Coast. Range et la Sierra Nevada sont constituées par du Crétacé et du Tertiaire, percés par des roches éruptives et contenant quelques massifs granitiques. Au-delà se trouve la région des Hauts. Plateaux, formée de massifs, surélevés ou affaissés,



Fig. 22.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

séparés par de grandes failles et contenant d'importants gîtes métallifères (Colorado, Nevada). Puis la cuvette du Mississipi est constituée par du Crétacé. On trouve ensuite des affleurements de terrains anciens formant de larges plis anticlinaux. Enfin, sur le bord de l'Atlantique, s'élève la chaîne des Appalaches.

Dans la zône des grands plis anciens, ce sont les terrains carbonifères et dévoniens qui sont les plus intéressants. Quant, à partir du Canada, on se dirige vers le Sud, on voit apparaître, par dessus les terrains cristallophylliens, des couches de plus en plus récentes ; dans toutes on trouve du pétrole, depuis le Cambrien du Nord jusqu'au Carbonifère du Sud. Il y a là une certaine difficulté d'explication géologique, car il est difficile d'admettre que le pétrole ait son origine dans des terrains inférieurs au Cambrien ; ce serait le vieillir énormément, les géologues américains admettent que son origine est dans le Dévonien.

La coupe des gisements de Pensylvanie est la suivante :

Houilles de Pittoburg
Houiller stérile
Houiller inférieur des Alleghanys } pas de pétrole (1)
Grès pétrolifère, relativement poreux (On a rapidement cessé d'exploiter)
Schistes (140 m)
1re Zône de grès pétrolifère (15 à 80 m.)
Schistes stériles (100 m.)
2me Zône de grès pétrolifère (10 à 100 m.)
Schistes imperméables (100 m.)
3me Zône de grès pétrolifère

La coupe est donc absolument conforme à la théorie.

II. — Gisements de Galicie. — Les gisements européens forment une grande courbe qui part des Apennins, suit les Carpathes (Galicie, Roumanie), se continue par le Caucase, le Turkestan, les deux extrémités de l'Himalaya (Indus, Birmanie, les Indes hollandaises).

Les gisements de Galicie sont échelonnés sur environ 100 kilom. de long ; mais il ne faut pas s'illusionner sur ce développement ; il y a des régions où l'on

(1) Des observations rapides avaient fait croire à l'association du pétrole avec le Houiller et que le pétrole résultait de la distillation de la houille. Cela est absolument inexact.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

trouve du pétrole partout et dont la richesse paraît énorme sur une carte ; mais en réalité, au point de vue industriel, le nombre des points fructueux est très restreint ; il se réduit au groupe de Borysław - Tustanowice en Galicie et à celui de la Prahova en Roumanie. Les suintements extérieurs ne doivent pas non plus faire illusion ; ils se prolongent depuis un temps énorme et le niveau dont ils proviennent peut être épuisé par ce drainage.

La Galicie est très fortement plissée et disloquée ; les terrains les plus divers s'y trouvent en contact anormal ; la stratigraphie y est très difficile et l'on trouve du pétrole depuis le Pliocène jusque dans le Crétacé ; d'où cette conclusion probablement inexacte que l'origine du Pétrole se trouve dans les terrains inférieurs au Crétacé ; quand on trouve du Pétrole dans le Crétacé, c'est sans doute que, par suite de renversements, le Crétacé a été amené en juxtaposition anormale avec des terrains pétrolifères plus récents. En réalité le Pétrole paraît se trouver en relation avec le Schlier et les argiles salifères (Miocène, Burdigalien) ; cependant, dessous, on en trouve encore dans le Tongrien (grès de Mazura et Klizva), dans les grès carpathiques éocènes et crétacés (grès de Libusza, grès calcaires à Fucoïdes, Flysch).

Le Pétrole a été rencontré d'abord en Galicie tout à fait superficiellement : on connaissait à Borysław des filons très irréguliers d'Ozocérite dans le grès (seul gisement dans le monde). L'Ozocérite devenait de plus en plus tendre, en même temps que se produisaient des dégagements de grisou. On fit des sondages et on trouva du pétrole, montant à peu près jusqu'à la surface ; ce niveau est actuellement épuisé ; mais de nouveaux sondages, plus profonds, ont atteint d'autres zônes pétrolifères, de sorte que dans l'ensemble la production augmente plutôt. - Les grands centres industriels ont été successivement Sanok, Krosno, Borysław, Tustanowice, Schodnitza.

Pétroles de Roumanie. - On a trouvé à l'intérieur de la courbure en Transylvanie, des dégagements de gaz assez abondants pour qu'on ait fait le projet de s'en servir pour alimenter Jest. En Roumanie, les sondages dépassent rarement 400^{m}, quoiqu'on soit descendu exceptionnellement à 600^{m}. Beaucoup même, creusés dans une période plus ancienne, n'atteignent pas 100^{m}. Il n'est pas encore nécessaire d'aller à des profondeurs plus grandes. La production a passé de 500.000 ^{t} en 1904 à 1.350.000 en 1910. Le grand district est celui de Campina Boustenari sur la Prahova.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Pétroles de l'Emilie. – Ces gisements italiens sont situés sur le Nord des Apennins, entre Modène et Plaisance ; les sondages ont, pour la plupart, trouvé de l'eau salée, mais peu de pétrole. Cependant sur la rivière du Taro, à Levignano, ils ont fourni des résultats assez importants. Ces gites sont intéressants parce qu'ils sont en relation avec la formation gypso-saline sur le prolongement de laquelle on trouve le soufre de Sicile et les volcans de boue avec dégagement d'hydrocarbures.

Gisements du Caucase. – A Bakou, se trouve une presqu'île constituée par la formation dite aralo-caspienne. Le Pétrole y suinte venant du terrain tertiaire naphtifère sous-jacent (fig. 23).

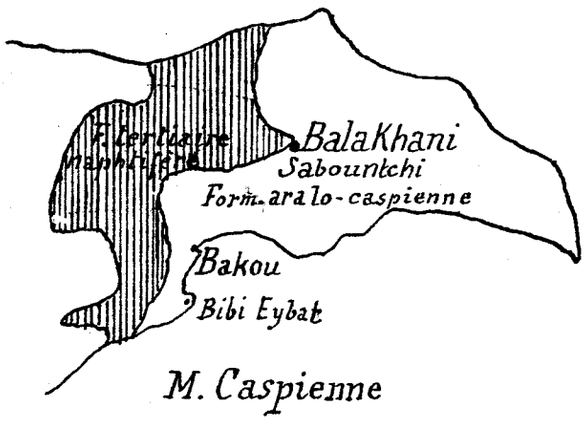


Fig. 23.

Les principaux centres sont : Balakhani, Sabountchi, Bibi Eybat et les sondages se prolongent jusque dans la mer.

Dans le détail, l'allure de la formation tertiaire est très complexe, comme il a été dit ; aussi, à très petite distance, trouve-t-on des résultats très différents. Des puits A B C D très voisins les uns des autres fournissent du pétrole à des altitudes extrêmement variables (fig. 24).

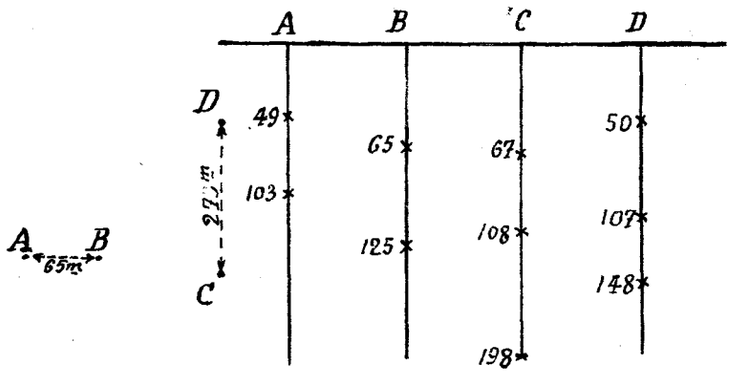


Fig. 24.

Les résultats obtenus sont très variables. Ainsi un puits foré a donné le 13 Août un jaillissement à 50m de hauteur, qui s'est arrêté à 9h du soir et a recommencé le 14 Août à 5h du matin, montant à 40m, fournissant 5000 tonnes par jour et causant des dégats considérables. On ne peut le capter qu'au bout de six semaines ; il fournit alors 3200 tonnes par jour, puis après 3 semaines de ce régime, il baissa et s'épuisa.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les puits de bonne qualité coulent par exemple un mois de suite et fournissent 650 tonnes par jour.

Dans l'ensemble, l'épuisement est extrêmement rapide, la proportion des puits stériles augmente; aussi, malgré le grand développement des puits, se produit-il une grande chute dans la production; elle est telle que, pour la relever, le gouvernement russe se décide à aliéner les terrains domaniaux réservés jusqu'ici.

Le district de Maikop se trouve à l'autre extrémité de la chaîne, en Crimée. On y connaît depuis longtemps des volcans de boue. On y a recherché vers 1860, dans la région de Kouban, du Pétrole que l'on expédiait du port de Novorossisk (fig. 25). Actuellement, l'exploitation est reportée à Maikop, dans une région peu accessible, mais où depuis longtemps on connaissait, par les indigènes, l'existence du pétrole. Là, comme en Galicie, des sondages profonds ont donné de bons résultats; l'exploitation n'est qu'à ses débuts, mais elle présente un certain avenir.

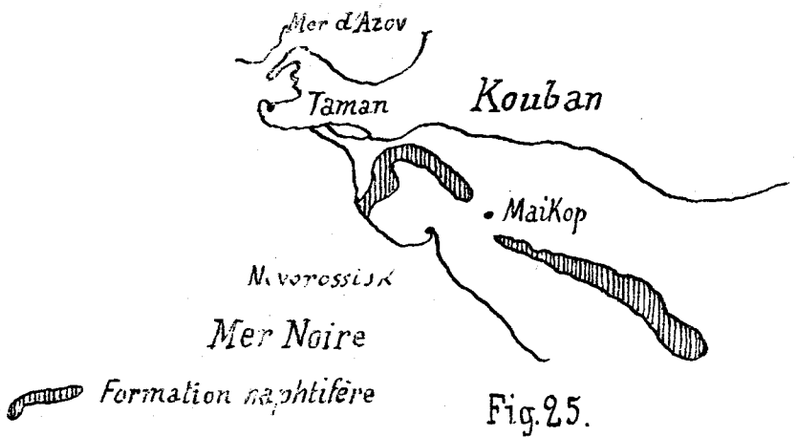


Fig. 25.

Allemagne. — En Alsace, à Pechelbronn, on connaît depuis longtemps l'existence d'asphaltes et de sables bitumineux. Des sondages, faits depuis 1870, ont montré l'existence du pétrole et donné naissance à une industrie importante. — Au Hanovre on a également trouvé du Pétrole.

France. — On a cherché du pétrole en France en se basant sur ce fait qu'il est presque toujours signalé en surface par des produits bitumineux. On connaît ainsi aux deux extrémités des Pyrénées, dans les Landes et dans l'Hérault, de petits suintements de pétrole.

On a fait de même des recherches en Auvergne où il existe un grand développement d'asphalte. Aux environs de Riom, un sondage de 1800^{m} a donné effectivement un peu de pétrole, mais sans résultat pratique. La région n'est pas très favorable, les terrains tertiaires sont surtout formés par des alternances de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

marnes fines et de lits sableux peu développés ; de plus la nature marine de ces dépôts est très douteuse, signalée seulement par un peu de gypse.

Au contraire, la région de l'Ain paraît plus intéressante ; depuis le Credo jusqu'aux asphaltes de Seyssel, il existe une série de pointements d'hydrocarbures en rapport avec des plis très réguliers (fig. 29)

Algérie. — On a signalé un peu de pétrole dans l'Ouest de l'Algérie, à Relizane (province d'Oran), en relation avec des gypses triasiques dans des conditions assez favorables à priori ; les résultats sont insignifiants.

Sibérie. — Cette plate-forme ancienne, tout à fait analogue à celle d'Amérique, fournit quelques gisements dans la mer Blanche (Monts Timan, Petchora) et sur l'Iénisséi et la Lena, où ils sont en relation avec des formations gypso-salines.

Chaines tertiaires d'Asie. — Une deuxième série se trouve sur le prolongement des chaînes tertiaires d'Europe, dans le Turkestan russe, en Birmanie (zône pétrolifère de Yenang-Young, avec volcans de boue ; les sondages ont donné de bons résultats), dans les Indes hollandaises ; sur la côte ouest de Java, à Bornéo, la production est insignifiante ; mais les gisements de Sumatra prennent une extension de plus en plus grande ; leurs pétroles s'emparent du marché d'Extrême-Orient, concurrençant ceux du Caucase et du Japon. Grâce à eux, les Indes hollandaises ont passé de 1.000.000 de tonnes en 1903 à plus de 2.000.000 en 1910.

Japon. — Les gîtes, assez restreints, se trouvent tout le long de la côte Ouest en relation avec les plissements tertiaires.

Amérique. — Des recherches faites dans le Golfe du Mexique, au Mexique, ont montré des conditions analogues à celles du Texas (pétroles lourds de médiocre qualité).

Ces gîtes se prolongent vers Cuba (pétrole), vers la Trinité (surtout gîtes de bitume) et au Vénezuela (lac de Maracaïbo).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Ambre ou Résine fossile

On en connait des gisements en Sicile (Catane, etc.).

Mais les plus importants se trouvent à la limite de la Prusse et de la Russie. Là des couches de sables glauconieux (1m30 à 1m70) sont recouvertes par des sables stériles, puis par des argiles, sables et lignites rattachés à l'Oligocène. Le niveau de l'ambre est mal déterminé. Il affleure sur le bord de la mer et on l'exploite par puits (environ 500 hommes), par draguages sous-marins (environ 5 à 600 h) ou par plongeurs (environ 100 h.). Un mètre cube de sable contient environ 200 à 300 gr. d'ambre. L'ambre se présente souvent en boules où l'on trouve parfois des insectes emprisonnés. Comme ce travail dure depuis un temps immémorial, les couches s'épuisent.

En Birmanie, on connait également des gisements d'ambre au même niveau géologique, à la base de l'Oligocène.

Ozokérite.

L'Ozokérite (Paraffine naturelle ou Erdwachs) est une sorte de pétrole, vert jaunatre ou brun, flexible; elle contient 32 à 52 % de paraffine; on constate que ce pourcentage diminue en profondeur et que l'Ozokérite y est remplacé par du pétrole qui est le gisement originel.

L'Ozokérite a toutes les applications de la Cire (Ruches artificielles, enduits, cierges, isolants électriques, etc.). On en extrait de la paraffine qui sert elle-même à la fabrication des cirages, vernis, etc.

Le seul gisement industriel est celui de Borysław (Galicie); quelques autres points de Galicie n'ont qu'un intérêt secondaire. L'Ozokérite forme une poche (fig. 26) sorte de remplissage de faille dans un synclinal rompu.



Fig. 26.

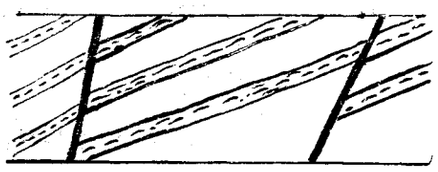


Fig. 27.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En coupe, on trouve une série de fissures (fig. 27) formant faille. L'Ozokérite se trouve suivant ces fissures et suivant les points de joints des schistes et des grès.

On connait un autre gisement dans l'Utah.

Bitumes.

Les bitumes ont une composition complexe; on les a longtemps considérés comme des mélanges de deux substances, le pétrolène $C_{40}H_{22}$ et l'oxyde de Pétrolène ou Asphaltène.

Cette conception ne semble pas exacte, mais elle donne une représentation simple et en quelque sorte schématique des faits réels; il y a dans le Bitume un groupe d'éléments liquides, susceptibles de s'oxyder et de devenir solides. Les bitumes peuvent contenir du Soufre ou en être exempts; le soufre parait dû à la réduction de sulfate de calcium qui se trouvait dans le gisement.

Les bitumes de bonne qualité servent à la fabrication des vernis, des laques, des peintures au bitume (elles noircissent et se craquèlent) et arrivent à valoir 1000 fr. la tonne. Les bitumes ordinaires contribuent à la fabrication des Asphaltes; on en ajoute 7 à 10% (surtout du bitume de la Trinidad) aux calcaires asphaltiques; ils sont utilisés aussi dans l'industrie du caoutchouc, du gaz d'éclairage, etc.

Mode de gisement.— Le bitume se trouve généralement dans des points où le pétrole existe en profondeur; mais le phénomène n'est pas général.

Gisements de Judée.— On sait que du bitume vient parfois flotter à la surface de la mer Morte; en réalité le fait est très accidentel; le bitume est recueilli par les Arabes et vendu à un prix très élevé. Ces bitumes sont probablement en relation avec les gites du Sud de la Mer Morte.

La Trinidad.— Cette ile a le monopole à peu près absolu de la production du bitume mondial; de plus elle est devenue récemment un centre pétrolifère.

Le gisement se trouve au Lac de la Braie, dépression de 100 à 150 m. où l'on voit le bitume se gonfler; on a pu ainsi avoir l'impression de réserves

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

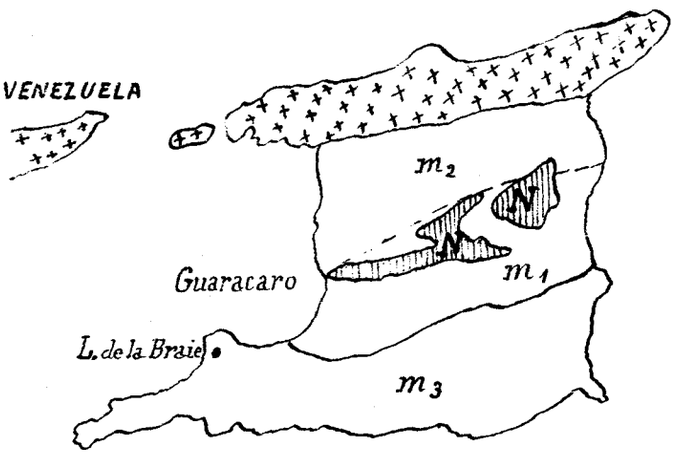


Fig.28.

Carte géologique schématique de la Trinidad

++ — Gneiss
N. — Néocomien
m_1, m_2, m_3 — Termes successifs du Miocène.

infimes de bitume venant de la profondeur. On exploite 100.000 à 120 000 tonnes de Bitume par an : tantôt on l'exporte directement, tantôt on l'épure sur place pour le débarrasser de l'eau qu'il contient (30%).

Toute la cordillère, dont fait partie la Trinidad contient d'ailleurs du Bitume et du Pétrole (Venezuela, Cuba) et se raccorde aux gisements de la côte des Etats-Unis (Texas, Louisiane).

Gisements divers.—

On en connait sur toute la côte Adriatique (Zante, Céphalonie et surtout Selenitza en Albanie) où le bitume forme des poches dans des grès ; il n'y est probablement pas contemporain de la sédimentation ; mais il y est le produit de l'accumulation dans des points privilégiés, peut-être dans les points les plus fossilifères.

On en connait dans la région de l'Ain, dans la vallée de la Valserine, à Forens, à Chazery, etc. (asphaltes dans l'Urgonien) ; sur le Credo entre Chazery et Confort (mollasse avec bitumes), à Orbagnoux. (Bitume dans le Lias), à Seyssel (calcaires asphaltiques dans l'Urgonien), à Anglefort (schistes bitumineux tertiaires). Tous ces gîtes se relient à ceux du Val-Travers plus au Nord en Suisse. Le fait que tous les étages sont imprégnés d'hydrocarbures semble indiquer que l'origine de ceux-ci est plus profonde (schistes jurassiques ou permiens).

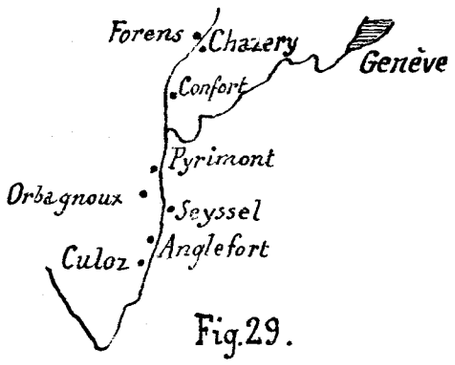


Fig.29.

Schéma de la région de Seyssel.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Asphaltes.

Ce sont des calcaires imprégnés de bitume. Celui-ci est tellement incorporé au calcaire qu'il ne peut en être séparé, tandis que dans les sables, un simple lavage à l'eau chaude permet de l'isoler. Au microscope on constate l'existence d'une série de petits grains de calcaires, recouverts d'une pellicule de bitume. Quand on chauffe, ces pellicules se ramollissent vers 80°; le calcaire tombe en poussière et on peut lui donner alors une forme quelconque (briques, etc...) qu'il conserve en se refroidissant.

Les Asphaltes sont connus depuis un temps immémorial (Tour de Babel) Ils servent actuellement surtout pour la confection des chaussées et des trottoirs.

Pour la confection des chaussées, on prend le calcaire asphaltique, on le broie, on le tamise, on le chauffe à 120°, on l'étend sur la chaussée et on le pilonne. Son inconvénient est de se fissurer, (par ces fissures l'eau pénètre et gèle,) et d'être glissant.

Pour la confection des trottoirs, on prend le même calcaire en poudre; on le fond avec du bitume de la Trinidad, ou avec du bitume d'Autun ou de l'Allier, à raison de 300 kgr de bitume pour 3500 kgr. d'Asphalte, jusqu'à ce que le mélange pâteux puisse couler en pains. — On fait fondre ensuite ces pains dans des chaudières en plein vent, on y ajoute encore 9 % de bitume et jusqu'à 60 % de sable; on étend le tout, à l'état de fusion, sur un fond de béton.

Quand l'Asphalte est de qualité inférieure, on fait des briques comprimées, dont on se sert comme de pavés en bois; cette application s'est peu répandue.

Gite de Seyssel ou de Pyrimont (Voir fig. 29, page 92). —

Situé le long du Rhône, c'est le plus important de France. Les calcaires urgoniens y sont imprégnés de bitume qui forme comme une série de marches d'escalier; ils sont recouverts par des mollasses tertiaires contenant du bitume (celui-ci n'est pas exploité; on a avantage à le faire venir de La Trinidad). Dans ces calcaires, les fossiles (Caprotines, etc) sont souvent remplis de bitume; mais

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ce remplissage est certainement postérieur à la fossilisation.

Gite de Pont du Château près Clermont-Ferrand. - Les Asphaltes s'y trouvent dans des calcaires à Helix Ramondi, des sables, marnes, avec intercalations de pépérites Chacun de ces terrains s'est plus ou moins imprégné de bitume ; on peut constater la nécessité de certaines conditions physiques des terrains pour que l'imprégnation bitumeuse soit suffisamment abondante. Les calcaires à Hélix s'y sont moins prêtés que les calcaires urgoniens de la région de Seyssel ; eux-mêmes ne sont pas homogènes ; on y trouve des rognons argileux ou siliceux qui ont échappé à l'imprégnation ; parfois ils contiennent tellement de bitume que celui-ci s'échappe par les fissures.

Autres gisements. - Dans le Gard, à St. Jean de Maruéjols, bassin d'effondrement avec failles, il y a dans l'Eocène des imprégnations bitumineuses qui ont donné lieu à des exploitations d'Asphalte.

D'autres gisements se trouvent en Sicile, près de Syracuse, en Russie sur le bord de la Volga, dans l'Ouest de l'Amérique du Nord (Utah).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Bore

Le bore se rencontre dans la nature sous forme d'acide borique et de borates. Ces produits sont utilisés en pharmacie et dans la fabrication des bougies.

Le composé du bore qui a reçu le plus d'applications est le borax. Il est utilisé dans la soudure des métaux, pour le décapage ; dans la céramique pour donner à la couverte le même coefficient de dilatation qu'à la pâte.

Statistique.

La production en 1840 était d'environ 1000 tonnes, provenant exclusivement de Toscane où une compagnie anglaise en détenait le monopole ; en 1854 elle était de 2000 tonnes. Pendant longtemps le borax valut 2300 fr la tonne rendue à Liverpool ; puis on découvrit vers 1865 les gisements de Californie qu'on mit en exploitation de 1870 à 1875 et qui abaissèrent beaucoup les prix (jusqu'à 1000 fr la tonne). La mise en valeur des gisements en Asie Mineure, au sud de la mer de Marmara, à Sultan-Tchair, jeta 10 à 15000 tonnes sur le marché et provoqua une nouvelle baisse ; ces gisements sont exploités par une compagnie anglaise et une compagnie française, et ont pris une importance prépondérante sur le marché. On découvrit enfin les gîtes de borax du Chili, du Thibet et de l'Inde orientale, ce qui provoqua une nouvelle baisse très sensible.

Mais les usages du bore se sont développés et la production s'est régularisée, elle est actuellement d'environ 90.000 tonnes dont 30.000 d'Asie Mineure.

Types de gisements.

Les gisements se rattachent à trois types :

1°) Soffioni (Toscane)

2°) Gîtes sédimentaires (Asie Mineure)

3°) Gîtes sédimentaires actuels (Californie).

Soffioni de Toscane. — C'est le type des gisements de Toscane. Ils se

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

trouvent aux environs de Volterra où ils forment un groupe de gisements placés sur des dislocations nord-sud, par lesquelles se dégage de la vapeur d'eau chargée d'un peu d'acide borique (1 à 2%). Ces dégagements se réduisent quelquefois à de simples sources chaudes. L'eau peut être sous pression à une température de 115 à 120°. Lorsque cette eau trouve une issue vers la surface, elle se vaporise brusquement. Elle peut alors soit ne pas se condenser (vapeurs sèches), soit se condenser en entraînant de l'eau liquide.

Actuellement les jets naturels sont épuisés ou sans importance. On fait alors des sondages de 40 à 100 m et on obtient des eaux chaudes qu'on fait évaporer dans des *lagoni*.

Cette exploitation simple en apparence, comporte cependant bien des difficultés et des dépenses: son importance, après s'être restreinte d'année en année, est devenue très secondaire.

L'origine géologique de ce bore est assez mystérieuse. Les *soffioni* sont situés sur la formation gypsosaline qui longe les Apennins (gypse et albâtre à Volterra). Une première théorie attribue l'origine des gisements à une concentration de bore dans la formation gypsosaline. Mais on a fait également observer que le bore est en relation avec le volcanisme : c'est ainsi que les minéraux borifères (tourmaline) se rencontrent fréquemment dans les auréoles des massifs granulitiques. On en a conclu - et cette théorie a été soutenue par certains chimistes - à une origine exclusivement volcanique des *soffioni* (Décomposition du sulfure de bore).

Il est impossible de savoir à laquelle de ces théories s'arrêter.

Gisements d'Asie Mineure. - A Sultan Tchair, près de Sanderma, au S.W de Brousse, se trouvent des dépressions miocènes au milieu desquelles s'observent des massifs d'andésite. Les couches miocènes sont accompagnées de couches de gypse présentant des lentilles de *pandermite* (borate de chaux hydraté) intercalées. L'exploitation s'effectue par puits et galeries.

Gisements de Stassfurt. - Ces gisements se rapprochent des précédents ils se trouvent à la partie supérieure du gîte ; ils fournissent annuellement quelques centaines de tonnes de stassfurtite (borate de Ca et chlorure de Mg), en boules englobées dans de l'argile. Elles sont rares; mais les primes promises aux ouvriers activent leur recherche. Il est probable que là le bore provient simplement de la concentration des traces de borates en dissolution dans l'eau de mer ; cependant il est plus abondant dans le voisinage des roches volcaniques, de sorte que là encore on peut invoquer une origine primitive de nature volcanique avec remise en mouvement et concentration postérieure.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisements divers. — On rencontre encore les borates en Californie, dans la Sierra Nevada, au Mexique, en Perse. Ils s'y trouvent dans des formations superficielles formant des croûtes salines, dans des bassins d'évaporation où ils sont accompagnés de KCl, $NaCl$, SO_4NaH, CO_3Na_2, AzO_3K, AzO_3Na.

En Californie, l'eau du "Boraxlake" contient une certaine proportion de sels alcalins et en particulier 7 gr de borax par litre que l'on exploitait au début par évaporation dans des bassins. Aujourd'hui on exploite par dragage les boues du fond, très riches en borax sur une épaisseur de 1 m 50.

On connaît des gîtes analogues dans la Sierra Nevada où ils sont recouverts par des graviers.

Le phénomène paraît assez général dans cette région désertique où on rencontre parfois des sources d'eau riches en borates.

— En résumé le bore provient :

1° des fumerolles.

2° de l'évaporation de l'eau de mer dans des bassins de sédimentation.

Les borates se présentent sous deux formes :

1° une matière blanche, d'apparence crayeuse, tachant les doigts (Californie).

2° une matière soyeuse, fibreuse, semblable à de l'amiante, se présentant en boules (Chili).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Phosphore.

Le phosphore est devenu une des substances industrielles les plus importantes. La France en est à la fois l'un des plus grands consommateurs et l'un des plus grands producteurs.

Usages.

Les usages directs du phosphore sont assez importants.

Mais la consommation la plus considérable s'en fait sous forme de phosphate de chaux pour l'agriculture. Les plantes ont besoin d'un certain nombre d'aliments, en particulier d'Azote et de Phosphore. Le phosphore se trouve uniquement dans le sol et celui-ci tend à s'appauvrir, car une petite partie seulement du phosphate revient aux terrains; en effet il passe aux animaux, puis à l'homme, de sorte que l'on a pu dire que le phosphate de chaux avait une tendance à se concentrer dans les cimetières. Elie de Beaumont a calculé que le phosphate ainsi accumulé en France, depuis le commencement de l'ère chrétienne, constituerait une couche de 2^{m} de puissance sur 1 kilomètre carré, ou $0^{m.m}.004$ sur toute l'étendue de la France. Pour éviter l'épuisement des sols en phosphore, on avait recours autrefois à des alternances de cultures en plantes à racines profondes et à racines superficielles, à des labours profonds etc.. qui reprenaient le phosphore du sol, puis à des engrais organiques et des phosphates minéraux.

Une quantité assez considérable de phosphate est également perdue par suite de sa dissolution dans les eaux et va à la mer où elle est d'ailleurs nécessaire pour la vie des organismes marins.

Heureusement la plupart des sols contiennent du phosphore.

Ainsi, dans la région des Ardennes, les analyses ont donné :

Diorite, Eurite ..... 0,2 %

Orthose ..... 0,1 %

Phyllades ..... 0,1 %

Arkoses et Quartzites ..... traces (0,002 %)

Calcaire dévonien ..... traces (0,01 %).

Les terrains métamorphiques contiennent le phosphate à l'état d'apatite qui n'est pas assimilable, mais qui, par suite de remaniements, est probablement l'origine indirecte

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

des phosphates sédimentaires; ceux-ci proviennent d'ailleurs probablement d'une façon plus directe du phosphore des organismes vivants; la proportion de phosphore a des relations nettes avec celle des organismes.

En agriculture, la question essentielle est l'assimilabilité du Phosphore. L'apatite finit à la longue par se dissoudre; mais pratiquement elle n'est pas assimilable. La phosphorite simplement cristalline, et concrétionnée, qui est à l'apatite ce que la calcédoine est au quartz, est un peu assimilable, mais elle n'est pas utilisable sans avoir subi une préparation. Les phosphates sédimentaires sont assimilables dans des proportions diverses. Les scories de déphosphoration des minerais de fer phosphoreux, (c'est-à-dire contenant 1 à ½ % de phosphore) sont également utilisées; après avoir discuté leur emploi, il est actuellement admis qu'en poudre fine, ils sont très comparables aux superphosphates; les minerais de fer sont ainsi devenus indirectement une source importante de phosphates.

Les phosphates naturels sont transformés en *superphosphates* assimilables par un traitement à l'acide sulfurique; c'est là une opération très fructueuse au point de vue industriel; il est curieux de voir qu'une grande manufacture de glaces, comme St. Gobain, a été amenée à devenir fabricant de soude, puis d'acide sulfurique, puis extracteur de pyrite, puis fabricant de superphosphates, ces industries se liant les unes aux autres.

Les superphosphates ne doivent pas contenir plus de 3 % d'alumine et de fer; quand cette proportion est dépassée, il se produit une *rétrogradation* du superphosphate; une partie revient à l'état de phosphate insoluble. Il y a d'ailleurs peut-être exagération dans cette manière de voir; car cette rétrogradation se produit forcément et naturellement au contact des produits à base de fer et d'alumine que contient le sol.

Le commerce des phosphates se fait à l'unité de phosphate (tant %). Les superphosphates se vendent au kilogramme d'acide phosphorique. Un phosphate à 70 % contient 70 unités. Le prix de l'unité est donc celui de 10 kilogr. de phosphate. La teneur en phosphate est à peu près double de la teneur en acide phosphorique. 100 Kil. de phosphate à 70 % (ou 32 % d'acide phosphorique) donnent avec 90 kgr. d'acide sulfurique 174 kgr. de superphosphate titrant 18 % d'acide phosphorique.

Statistique.

Les phosphates provenaient autrefois des apatites de Norwège et du Canada;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

leur production est actuellement tombée à rien.

Les phosphorites les ont remplacées ensuite, à cause de leur très belle qualité; elles conservent leur valeur, mais elles sont presque complètement épuisées; car ce sont des minerais superficiels, dus à des remises en mouvement, se trouvant par suite en quantité assez limitée.

Les phosphates sédimentaires ont d'abord été exploités vers 1855 en Angleterre (Ely, Sandy, etc.) où ils sont actuellement épuisés, puis en France dans les Sables Verts (Ardennes, Drôme), dans le Lias (Auxois), dans le Crétacé supérieur (sénonien et danien à Ciply, Maëstricht, etc.). Tous ces gisements se sont épuisés les uns après les autres. Dans les gisements du crétacé supérieur, on est tombé d'abord sur des quantités de craie à 10 ou 15 %, pas vendables, qu'on a enrichies. On a trouvé ensuite des points où s'était faite une concentration naturelle jusqu'à 35 %; enfin en 1880, on a découvert des endroits où une préparation naturelle supplémentaire avait formé des sables phosphatés très riches (Picardie, Oise, Belgique); mais ces sables très superficiels n'ont pas tardé à s'épuiser et jouent un rôle secondaire.

Vers 1865 entrèrent en ligne les phosphates de la Caroline à 66 %, de sorte que la teneur de 60 % a servi de base au marché des phosphates; on calcule les degrés en plus ou en moins à partir de 60 %; ces gîtes sont en voie d'épuisement. Depuis 1885-1890, ils sont remplacés par les phosphates de Floride, qui ont une production intense, croissante.

Les gîtes d'Algérie-Tunisie, découverts d'abord au point de vue géologique (Souk-Ahras, Béja, etc..) ont pris une importance croissante (Tebessa, Gafsa).

Depuis 12 ans environ, les phosphates des îles océaniques sont entrés en ligne; ils ne seront jamais considérables, mais dans certaines régions du globe, ils concurrencient efficacement les autres gîtes

	1907	1908	1913
Belgique	316.000 tonnes	300.000 tonnes	"
France	431.000 "	480.000 "	335.000 tonnes
Algérie	343.000 "	360.000 "	461.000 "
Tunisie (Gafsa)	1.057.000 "	1.253.000 "	2.285.000 "
Floride		1.550.000 "	2.550.000 "
Caroline du Sud		300.000 tonnes (?)	150.000 "
Tennessee	600.000 tonnes	400.000 "	440.000 "
Iles du Pacifique	190.000 t.	300.000 "	250.000 "

Scories de déphosphoration. 2.600.000 tonnes

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Description géologique.

1 - Apatite.

Les gisements d'apatite ne jouent plus aucun rôle industriel; mais ils ont un intérêt théorique parce qu'ils constituent l'origine probable, mais lointaine, de tous les autres gîtes de phosphates. D'une façon générale, l'apatite est très abondante en inclusions dans presque toutes les roches; la teneur augmente dans certaines roches, par exemple dans celles qui sont en relation avec les granulites; on y trouve un groupe de minéraux riches en phosphates: wavellite, turquoise (phosphate d'alumine), amblygonite, montebrazite (phosphate d'alumine et fluorure de sodium et lithium).

Les gîtes de Montebras, en particulier, sont constitués par de grands filons avec cassitérite, wolfram, apatite ou amblygonite suivant les points.

On a exploité en Norwège des apatites, soit dans les granulites recoupant des gisements de fer à Gellivara, soit dans des filons de porphyre avec quartz et apatite, soit dans des minerais de fer, oligiste ou magnétite, chargés de grains d'apatite; toute une installation y a même été faite pour la séparation magnétique de l'apatite; l'opération n'est pas très fructueuse à cause du bas prix de l'apatite. Dans le sud-Ouest de la Norwège, en particulier à Oddegarden il existe tout un groupe de roches (gabbros) recoupant les schistes cristallins et recoupés par des filons de granulite; la venue d'apatite semble liée à celle de la granulite; car elle lui est tantôt antérieure, tantôt postérieure; elle en est probablement un épisode. - Les filons d'apatite sont des roches à structure pegmatoïde avec apatite, amphibole, mica noir, enstatite, ces minéraux se développant inégalement suivant les points. Au contact de ces apatites, les gabbros normaux à plagioclases se transforment en gabbros à vernérite, faciles à reconnaître au microscope; il y a même eu là une application pratique, intéressante de la pétrographie. La vernérite, $R_4 Al_6 SiO_9 O_{24}$, qui contient toujours 2 à 4 % de chlore avec du fluor, est caractérisée par l'introduction de ce chlore et en même temps par l'abondance de la chaux; elle montre l'influence des chlorures dans ce processus. On y trouve des poches de phosphates ayant 10, 15, 20.000 tonnes, facilement exploitables à cause de la proximité de la mer, mais irrégulières.

L'apatite y est jaune, circuse, très massive, compacte, surtout chlorée.

D'autres gisements analogues, au Canada (région d'Otawa), ont une certaine

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

importance. L'apatite y est vert clair, saccharoïde, surtout fluorée, 3 ½ % de fluor contre ½ % de chlore. Elle forme des lentilles au milieu des pyroxénites, associées aux cipolins, dans les terrains cristallophylliens de la région; ces lentilles ont des dimensions parfois considérables. Ainsi l'on a trouvé à Ottawa un seul cristal de 400 kgr.

Dans la région du cap de Gate (S.E de l'Espagne), il y a également des roches éruptives, trachytes rouges, etc.., contenant des apatites en cristaux verts de 3 à 4 $^{m/m}$ disséminés dans la masse. Cette apatite n'est pas exploitable telle quelle; mais les trachytes, très feldspathiques, s'altèrent et donnent un sable, très chargé en apatite et en potasse, qu'on emploie dans les environs.

II. Phosphorites.

Elles ont souvent une allure filonienne, mais sont en réalité le produit d'altération et de remise en mouvement des phosphates sédimentaires. Celles de Logrosan et de Caceres doivent être décrites provisoirement à part; bien qu'elles soient toutes du même type que le Quercy; mais les géologues espagnols sont très affirmatifs sur leur nature filonienne.

Il y a un certain nombre de massifs granitiques qui recoupent les terrains primaires et sont accompagnés de filons d'étain; on y trouve du wolfram, du molybdène, des minerais d'Urane; dans la même région d'autres filons recoupent les schistes siluriens et les calcaires carbonifères; ils se présentent comme une série de fractures parallèles, d'élargissements, de proches dans les calcaires; ils pénètrent quelquefois un peu dans les granites; on a pu les suivre jusqu'à une assez grande profondeur (150 ^{m}); mais ce fait n'est nullement hors de proportion avec ceux que l'on observe dans les cavernes.

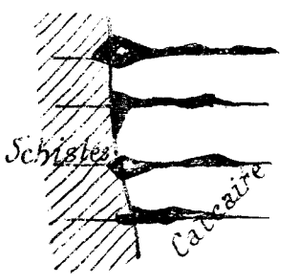


Fig. 30.
Plan théorique des filons de Caceres.

En profondeur un appauvrissement paraît se produire; mais de récentes tentatives de reprise ont montré que cela pouvait tenir au drainage se produisant en profondeur vers les synclinaux, entraînant le phosphate soluble.

Ces phosphorites, parfois rubannées, se sont déposées comme des filons de quartz concrétionné.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

III. Phosphates sédimentaires.

On les trouve à tous les étages; ils tirent souvent leur valeur industrielle des phénomènes de remise en mouvement, qui y ont amené localement une concentration naturelle; ainsi en Auxois, on n'a pu exploiter que des affleurements; de même les sables de Beauval se sont montrés exceptionnellement riches. On peut considérer également beaucoup de phosphorites comme des effets d'une telle réaction extérieure.

On connaît plusieurs types de phosphates sédimentaires:

Phosphates noirs. – (Dévonien, Silurien, Carbonifère) ayant l'aspect de galets roulés, véritables concrétions de phosphate aggloméré avec matières charbonneuses; la teneur des diverses parties du noyau et du ciment est variable.

Nodules, Boules, Rognons. – Dans le Gault du Boulonnais, ils sont brillants, luotrés, à éclat métallique; en Russie, ils sont agglomérés en une pierre dure utilisée jadis comme pierre de taille.

Craie phosphatée. – Des parcelles de phosphate y sont disséminées, lui donnant un aspect de craie brune ou craie piquetée et lui communiquant une densité assez forte, une odeur fétide rappelant un peu celle des calcaires bitumineux. Le phosphate y est presque toujours groupé autour d'organismes; sa teneur augmente avec leur nombre et on peut en conclure qu'il est dû à l'accumulation d'organismes... De même quand on trouve des minerais de fer phosphoreux, on constate une relation entre la teneur en phosphore et le nombre d'organismes (Lorraine, Kertch en Crimée, etc.); en certains points (Ciply, etc.), il y a une grande abondance de dents de squales. Il y a là une série d'indices en faveur de la proximité relative du rivage, ou tout au moins de zônes où les courants venaient accumuler les organismes.

Les phosphates du Gault se trouvent de même dans une région où il y avait eu émersion, puis retour de la mer et remaniement des formations continentales précédemment déposées; aussi y trouve-t-on des fossiles appartenant à plusieurs étages antérieurs. Il en est de même en Caroline, en Floride, à Ciply.

L'origine première, mais très indirecte, de ce phosphate est évidemment l'apatite, qui a été dissoute dans l'eau, entraînée dans la mer et qui a servi à l'alimentation des animaux marins.

Phosphates noirs. – Ils se trouvent dans les Pyrénées. Il a été fait grand bruit autour de leur découverte, mais ils n'ont pas d'importance industrielle, à cause de l'irrégularité et de la pauvreté des gisements. De plus leur vente est difficile, les agriculteurs étant habitués à

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

employer du phosphate blanc. Ces phosphates sont d'âge dévonien.

Les principaux affleurements se trouvent au niveau des griottes et se suivent sur toute la longueur des Pyrénées. On n'a pu les exploiter qu'en un point, à Las Cabesses (Ariège), à la faveur des travaux et des installations existant pour une mine de manganèse.

En dehors des Pyrénées, on en trouve dans le pays de Galles, dans le Silurien, où il existe un certain nombre de niveaux phosphatés intercalés entre les schistes gréseux et le calcaire de Bala; à la partie supérieure des schistes, se trouve un niveau de phosphates noirs contenant une forte proportion de graphite; par suite des plissements, ils affleurent en une série de zônes parallèles; l'épaisseur de la couche est d'environ 1 m., elle contient beaucoup de pyrites et de sulfate de baryum.

Des gisements analogues sont connus en Russie, en Podolie (bassin du Dniester); ils se trouvent dans le Silurien et sont constitués par des nodules noirs formant de véritables boulets, avec une forte proportion de matières organiques.

Phosphates du terrain houiller. — Ce sont des nodules noirâtres de phosphate concrétionné qui se substituent à la sphérosidérite; il y a là encore l'association du phosphate et du fer qui est si fréquente.

Phosphates du Jurassique. — Les couches vraiment exploitables commencent dans le jurassique; les niveaux phosphatés se trouvent à la fin des périodes de régression, accompagnant des minerais de fer et résultant probablement, comme eux, de la destruction d'une grande quantité de matériaux continentaux.

Une première série de niveaux se trouve au début du Lias. Celui-ci débute dans certaines régions, en particulier dans le Nord de la France, par des grès détritiques, arkosiques, avec bone-beds ou lits à ossements. Un peu plus tard, les sédiments deviennent calcaires et ils s'accompagnent de phosphates, par exemple dans l'Auxois sur le bord N.E. du Morvan. Dans cette même région, on trouve sur le plateau de Thostes, dans les sédiments reposant directement sur les terrains primitifs, des minerais de fer et de vanadium. Les phosphates du Lias (Calcaire à Gryphées arquées) n'étaient d'ailleurs exploitables qu'en affleurement; par des tranchées temporaires de 3 m. de profondeur environ, faites sur des terrains loués. Cette industrie, aujourd'hui réduite presqu'à rien, a occupé jusqu'à 500 ouvriers; on obtenait environ 30 kilogrammes de nodules par mètre cube; ceux-ci contenaient environ 5 % de $Ca\,Fl_2$.

Le même niveau a été exploité dans la Haute-Saône et se retrouve dans le Cher et l'Indre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Toarcien. – Cet étage n'est qu'indirectement une source de phosphates; les oolites ferrugineuses de Meurthe et Moselle sont la source de scories de déphosphoration (environ 600 000 tonnes par an). C'est un exemple très net de l'association des minerais de fer et du phosphore; il y a probablement 1 % de phosphore dans l'ensemble des minerais de fer de ce niveau.

Bajocien. – On y trouve des phosphates dans le centre de la France; les conditions y sont analogues à celles du Lias; de nombreuses accumulations de coquilles sont associées à des minerais de fer et à des phosphates (Nièvre). Le même niveau se retrouve en Franconie.

Crétacé inférieur. – Le néocomien et l'albien correspondent suivant les points à la période de transgression qui marque dans les régions continentales le retour de la mer. Les niveaux phosphatés se trouvent surtout dans l'albien (sables verts, gault); on a exploité les phosphates des sables verts dans l'Ardenne, la Meuse, l'Ardèche, la Drôme, l'Angleterre.

L'Ardenne, qui eut une grande ère de prospérité à partir de 1855 et qui occupait 400 ouvriers en 1886, est aujourd'hui abandonnée. Les sables verts y ont 25 à 40 m d'épaisseur; il s'y trouve une couche peu épaisse (10, 15, 20 centimètres), véritable cordon de phosphates en nodules séparés ou agglomérés en poudingues. La teneur est en moyenne de 18 % d'acide phosphorique (39 % de phosphate de chaux). Les nodules sont généralement lisses, brun-grisâtre, très durs; ils ont parfois un éclat métallique. Ils manquent en certains points, ce qui prouve qu'il s'agit d'un dépôt irrégulier. L'exploitation se faisait à ciel ouvert, par tranchées, quelquefois par petits puits.

Dans la Drôme à Saint-Paul-Trois-Châteaux, il y avait plusieurs petits lits d'épaisseur très variable, échelonnés sur une hauteur totale de 6 à 12 m. Les sables verts y sont éminemment terrigènes; on y trouve, outre les phosphates, des galets et des accumulations de coquillages. La teneur était de 38 à 50 % de phosphate.

Des gisements dans le *Gault* se trouvent dans le *Boulonnais*, où il y a encore quelques petites exploitations, à Bellegarde (Perte du Rhône), et surtout en Angleterre et en Russie.

En *Angleterre*, il existe une discordance à la base du crétacé; une émersion s'y est produite entre la fin du jurassique et le commencement du crétacé; il s'y est déposé des couches saumâtres et d'eau douce (Purbeck), puis terrestres (Weald). Ensuite viennent des dépôts

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

transgressifs, appartenant à l'Aptien (Argiles et sables du Lower Greensand), à l'Albien (Argiles), au Cénomanien (grès vert = Upper Greensand), mais tous de nature littorale avec des débris enlevés aux terrains sous-jacents. On y trouve de nombreux niveaux de phosphates et la coupe est la suivante de haut en bas :

Phosphates de Suffolk Argiles de Londres	(Eocène)
Marnes et calcaire	(crétacé supérieur)
Phosphates d'Ely	
Gault	
Argiles et phosphates de Folkestone, de Boulogne	
Lower greensand	
Phosphates de Sandy	
Weald (Crétacé inférieur)	
Jurassique	

Ces phosphates ont joué un grand rôle autrefois; ils ont maintenant beaucoup baissé et sont tombés à peu près à rien. Dans ceux de Sandy (50 cm. d'épaisseur) on trouvait beaucoup de fossiles, en particulier des ossements cimentés par un sable ferrugineux et provenant en partie des terrains sous-jacents. Ces fossiles ne sont pas la cause directe du phénomène; car ils ont été eux mêmes transformés en phosphates par un phénomène ultérieur, mais il est possible que les organismes auxquels ils appartenaient aient fourni, par leur matière organique, le phosphate nécessaire. Ces nodules sont reconnaissables à leur surface verte.

Il y a, en Russie, de grands niveaux phosphatés qui sont plutôt des réserves pour l'avenir. Les couches à phosphate sont surtout développées au sud de Moscou, le long du Dniester et de la Volga; on a commencé à exploiter à Smolensk, Kiew, Nijni-Novgorod.

La région de Kourok possède un niveau de craie phosphatée, qui s'abaisse lentement vers le Dniéper et le Don jusqu'au dessous du niveau de la mer; on l'a d'abord exploitée comme pierre de

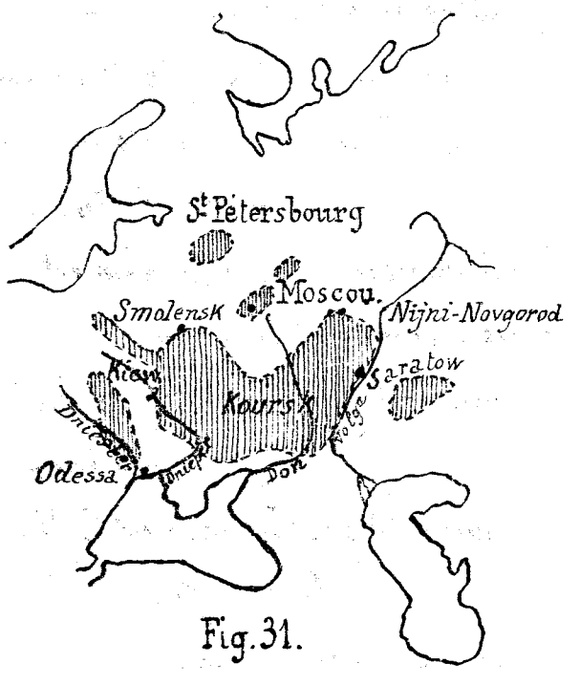


Fig. 31.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

construction, la couche principale (15 à 30 cm) est un agglomérat de rognons de phosphates, à ciment calcaire; la partie inférieure des rognons est lisse, la partie supérieure est rugueuse. On y trouve de nombreux fossiles qui paraissent avoir été, en partie, empruntés à des terrains antérieurs.

La région de Tambow présente des gisements analogues. La couche (60 cm d'épaisseur) contient des phosphates en dalles, blocs, nodules, à raison de 30 000 tonnes par hectare.

Celle de Saratow (Volga) s'étend sur plus de 40 km.; le phosphate y abonde en débris organiques; les terrains encaissants ont tous une odeur fétide, tenant à l'existence des matières organiques, associées aux phosphates.

Dans le Nord de la France, à Pernes et à Fauquembergues, les assises inférieures de la craie (Cénomanien) sont très amincies et constituées par une couche d'argiles glauconieuses peu phosphatées (*Gourtia*), aquifères, qui, en certains points, se chargent de phosphates comme à Pernes où la succession est :

Sables verts et glauconieux
Bancs de nodules 1 m
Lit d'argile 20 à 25 m/m [Gault]
Schistes violacés [Dévonien].

Ces niveaux phosphatés disparaissent quand on s'élève dans la série; cependant on les retrouve sur le bord du bassin; ainsi dans la Sarthe on connait des niveaux intercalés dans la craie à *Inoceramus labiatus*, et dans celle à *Ostrea columba* (Ferté-Bernard, Connerré); ils sont constitués par des nodules empâtés dans des sables.

Crétacé supérieur. — Les niveaux phosphatés y ont le faciès tout spécial de *craie brune ou de craie piquetée*, exploitée à Ciply (Belgique), Beauval (Somme) Hardivillers (Oise) et en Algérie-Tunisie, dans laquelle sont disséminés une série de petits points jaunâtres. Les couches phosphatées occupent des surfaces énormes; mais leur teneur y est très variable et il faut chercher beaucoup pour trouver des points réellement exploitables. Dans le gite de *Beauval* (Somme), l'origine du phosphate y est une craie phosphatée; mais il y a eu enrichissement superficiel local, ayant donné lieu à des poches de phosphates, signalés en 1849 et 1863, exploités seulement en 1886, à la suite de l'analyse chimique de sables, employés pour la briqueterie et donnant une couleur verte. Ces sables contenaient 70 % de phosphate et ont été la base de fortunes considérables. Ils proviennent de la craie du Sénonien supérieur (Santonien) à *Belquadrata*. Cette craie, pauvre en phosphates à l'origine, a subi des ondulations qui ont amené des concentrations

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

superficielles. Ces produits de concentration se sont eux-même enrichis et se trouvent en roches dont les parois ont manifestement subi des phénomènes chimiques. Aussi a-t-on invoqué quelquefois l'existence d'actions de profondeur ; en réalité il s'agit simplement d'une altération superficielle. La teneur en phosphate est de 36 à 70 %.

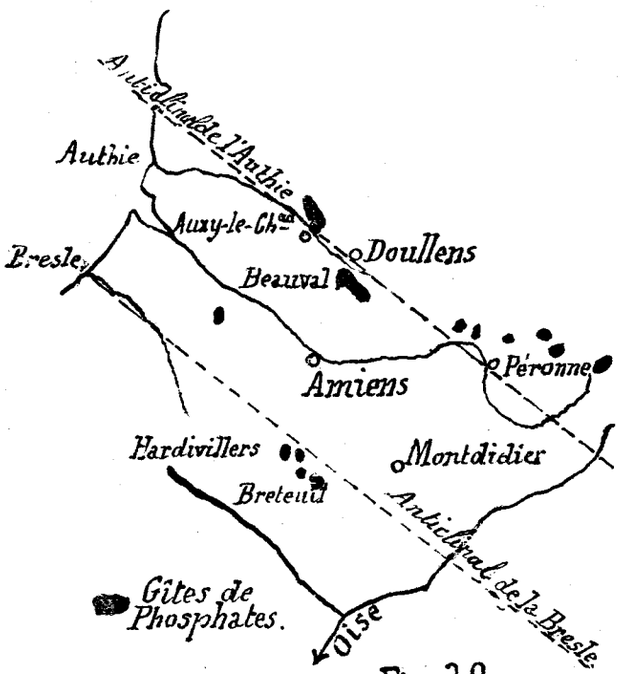


Fig. 32.

Les phosphates de Ciply se trouvent à un niveau un peu plus élevé dans le Sénonien supérieur, dans le sous-étage campanien qui est recouvert là par le Danien. Le phosphate y a une faible teneur : 23 à 25 % ; aussi a-t-on cherché à l'enrichir mécaniquement par classement dans un courant d'air qui sépare les petits nodules de phosphate de leur gangue ; mais ces nodules eux-mêmes ne sont guère qu'à 60 %. En quelques points, on a trouvé des gites d'enrichissement analogues à ceux de Beauval.

Tertiaire. — Les phosphates prennent à cette époque un développement considérable en Algérie et Tunisie.

Une foule de tentatives furent faites d'abord à Souk-Ahras et aux environs ; elles furent peu fructueuses sauf en quelques points enrichis : Béja, Khanguet, Tocqueville, Bordj bou Arreridj. — On exploita ensuite les environs de Tebessa et la région du Dyr, puis on découvrit les gites très riches et très considérables de Gafsa. Depuis on est revenu à la région frontière (Kalaat-es Senan, Kalaat Djerida). — Il y a d'ailleurs dans la région sud du département de Constantine des zônes phosphatées qui s'étendent jusque dans la région de l'Aurès et de Biskra.

La coupe des terrains géologiques dans laquelle ils se trouvent est très caractéristique (fig. 34).

Limachelle et calcaire nummulitique fossilifère formant des tables (Kalaat) horizontales, [Nu].

Niveau phosphaté [Ph].

Limons argileux noirâtres (120 m) avec chlorure de sodium, gypse, une quantité de silex blancs superficiels que les Arabes prennent pour des ossements [Arg.]

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

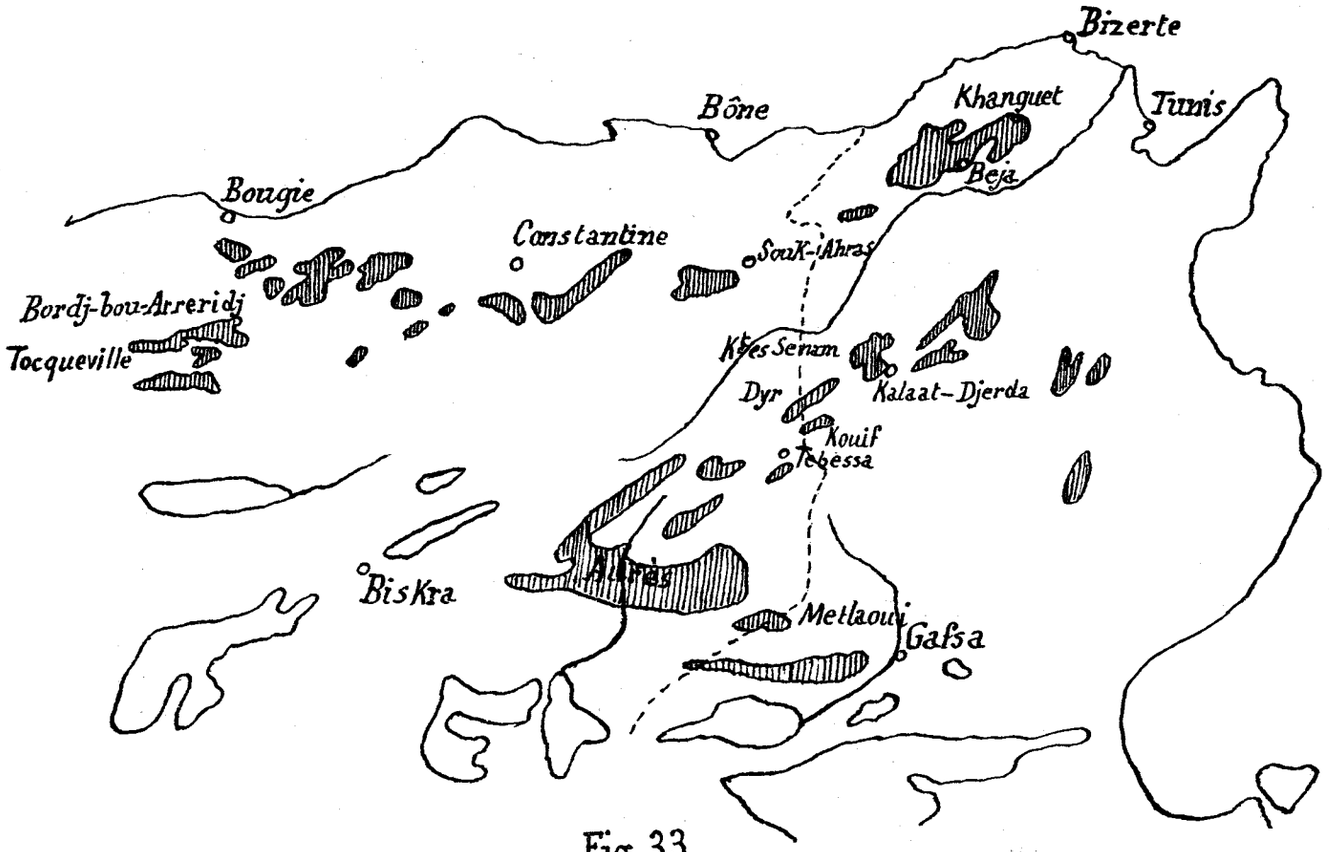


Fig. 33

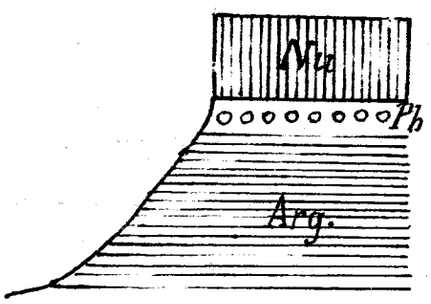


Fig. 34.

Suivant les points, les phosphates ont un âge légèrement différent, ce qui tient à un phénomène de transgression avec remaniement des terrains antérieurs. La mer paraît avoir progressé du Nord vers le Sud.

Les véritables phosphates industriels se présentent sous la forme d'une craie phosphatée (densité 2) à couleur variable (blanc, jaunâtre), s'écrasant facilement sous les doigts, devenant très friable à l'air. Les points où la teneur est suffisante pour permettre l'exploitation sont assez rares. Au Dyr, une enquête administrative, faite sur toute la longueur des affleurements, a montré qu'en dehors du point où se trouve l'exploitation Crockston, un seul, à 50 km. au nord, était assez riche et pouvait contenir 100.000 tonnes entre 65 et 70%. Dans toute cette région, la teneur normale est de 50%.

Aux environs de Gafsa, les couches tertiaires sont très plissées; elles forment de véritables anticlinaux où les sédiments sont parfois relevés presque jusqu'à la verticale. Cela a été

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

au début une gêne pour l'exploitation. Ces phosphates appartiennent peut-être à l'Eocène moyen et non à l'Eocène inférieur. Les principales exploitations se trouvent à Metlaoui, où il existe quatre couches de phosphates séparées par des alternances de marnes et des lits de galets.

Phosphate couche n°1.	Phosphate	2.40
	Lit de petits galets	
	Phosphate	0.80
Coquilles et boulets		0.02
Phosphate		0.70
Gros galets		
Phosphate		0.90
Marnes		0.15
Phosphate et galets		0.15
Marnes		0.25
Phosphate couche n°2	Phosphate	1.10
	Galets	
	Phosphate	0.70
	Galets et phosphate	0.30
Marnes et alternances phosphatées		5.00
Phosphate, couche n°3		0.80
Marnes et petits bancs calcaires		4.50
Phosphate couche n°4	Phosphate	0.60
	Calcaires et Marnes	0.60
	Phosphate	0.80
Calcaire à Limachelles.		

L'existence des phosphates est donc liée, ici comme ailleurs, à des phénomènes détritiques ayant amené les galets. La teneur moyenne est de 60% dans la couche N°1, de 62% dans la couche N°2. On a construit pour l'évacuation de ces phosphates un chemin de fer spécial de Sfax à Gafsa; on exploite actuellement près de 2 millions de tonnes.

Formations récentes. — Elles présentent un faciès tout différent.

Celles sont les *phosphorites du Quercy* (Caylus dans le Tarn-et-Garonne, Aveyron, etc.). On les trouve sur le plateau des Causses dans des excavations rappelant par leur coupe les grottes, avens, etc... et remplies par du phosphate de chaux. Ce remplissage paraît remonter à une époque assez éloignée; la présence d'ossements permet de les dater jusqu'à l'Oligocène. La paroi a d'abord été creusée et recouverte d'enduits à structure concrétionnée. On trouve dans son remplissage des produits remaniés, empruntés à des terrains existant précédemment à la surface du plateau et actuellement détruits. Il y a donc eu emprunt du phosphate à des terrains déjà phosphatés, mais peut-être pauvres, puis enrichissement et concentration. Une partie du phosphate a pu être empruntée aux tissus des animaux tombés dans ces avens.

Le même type se retrouve dans diverses grottes, comme à La Minerve, Hérault,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

en Algérie, en Tunisie, où leur origine organique est incontestable et où il s'agit de véritables guanos avec phosphate d'alumine et phosphate de chaux. Il est possible que les phosphates de la région de Cacérès et de Logrosan en Espagne (Voir p. 102) aient la même origine.

Les gites phosphatés de la Caroline du Sud sont tellement importants qu'ils ont été le régulateur du marché pendant 40 ans.

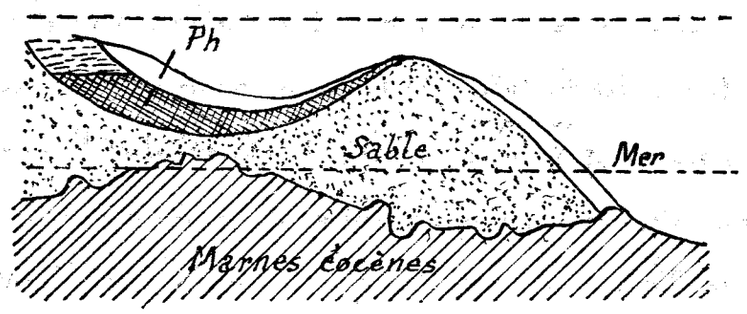


Fig. 35.

Coupe géologique d'un gisement de phosphates en Caroline du Sud.

Dans les sables ravinant des marnes éocènes et plongeant sous le niveau de la mer, on trouve des phosphates en véritables rognons avec nombreux ossements d'animaux empruntés à des terrains préexistants et des ossements quaternaires. Il est probable qu'il y a eu plusieurs stades dans le remaniement et la concentration progressive des phosphates. Il est à noter qu'on en trouve déjà dans les marnes éocènes.

Les gites de Floride ont une importance toujours croissante. Les phosphates y sont un peu différents. Ils sont répartis sur un plateau de calcaires coralliens blanchâtres, datant du début du Tertiaire, soit dans des dépressions et poches de ce calcaire, soit dans les vallées des rivières dont plusieurs se perdent et donnent naissance à des sources vauclusiennes ; ce plateau est couvert par de grandes forêts tropicales marécageuses. Il y avait là au début de grandes difficultés, surtout au point de vue de l'habitation ; elles ont disparu aujourd'hui.

Les phosphates sédimentaires y sont accompagnés de concrétions de phosphorites (boulders ou rock-phosphate) qui ont attiré l'attention au début ; le remplissage y était tout à fait analogue à celui des poches du Quercy ; elles ont été rapidement épuisées.

L'exploitation se fait de deux façons, sur la terre ferme (land pebbles) et par dragages en rivière (river pebbles).

Les phosphates des Iles Océaniques ont été reconnus depuis peu de temps, à l'île Clipperton, aux Carolines, près de Tahiti, etc... Ils s'épuiseront rapidement, mais ils sont d'exploitation facile.

Ce sont des îlots coralliens, formés par des calcaires d'âge tertiaire, ayant subi l'action des eaux de surface, qui y ont donné naissance à des grottes et à une abondante

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

circulation d'eaux souterraines.

Le calcaire lui-même est légèrement phosphaté. Mais surtout on trouve à sa partie supérieure d'énormes poches où se sont faites des concentrations de phosphate à 60 ou 70 %.

Leur origine est problématique; il ne semble pas qu'il s'agisse d'un dépôt fait directement sous sa forme actuelle dans le calcaire; peut-être y a-t-il eu d'abord un calcaire, faiblement phosphaté dans les conditions littorales habituelles. Ce calcaire aurait été recouvert d'une accumulation de matières organiques (guano), qui aurait imbibé et phosphatisé la roche sous-jacente. En tous cas, le dernier phénomène a été une concentration d'origine secondaire et superficielle comme celle que l'on observe en Floride, dans le Quercy, à Beauval, etc. Il est à noter qu'aux îles Chinchas, les guanos forment de même des concentrations phosphatées sur le calcaire sous-jacent. Enfin, il est curieux que ces formations soient localisées dans une zône de 15 ou 20° au nord et au sud de l'Equateur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Arsenic et Antimoine.

L'arsenic et l'antimoine forment beaucoup de minerais complexes en se substituant au soufre pour s'unir aux métaux.

On connait, en outre, des cas, assez rares, où l'Arsenic et l'Antimoine sont seuls à faire partie de combinaisons métalliques où le Soufre n'entre pas.

L'Arsenic et l'Antimoine, qui se rapprochent ainsi du Soufre et des métalloïdes par leurs propriétés chimiques, ont par ailleurs des propriétés métalliques.

Arsenic.

Les principales substances arsenicales utilisées sont l'Arsenic métallique, l'Acide arsénieux (As_2O_3), le réalgar (As_2S_2).

Usages.

L'Arsenic métallique entre dans la composition du plomb de chasse, en permettant aux gouttes de prendre une forme ronde.

L'Acide arsénique sert à la fabrication des toiles peintes, de certaines couleurs (rouge d'aniline, verts de Scheele, Véronèse, de Schweinfurth, etc. d'ailleurs vénéneuses, et de certains médicaments, sous forme de composés organiques.

L'Acide arsénieux sert dans la verrerie, dans la préparation des laines, et pour l'empoisonnement des animaux nuisibles, le chaulage des blés.

Malgré le peu d'importance de ces applications, la consommation de l'Arsenic tend à s'accroître.

Minerais.

L'Arsenic se trouve souvent comme impureté gênante dans des minerais: pyrite de fer, minerais de fer comme ceux de Tabarka en Tunisie. On grille ces minerais et on extrait alors l'Arsenic comme sous-produit, principalement, quand des mesures légales prohibent le rejet dans l'atmosphère des fumées arsenicales.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les minerais proprement dits d'arsenic sont : le mispickel ($FeAsS$) qui contient souvent de 45 à 75 % d'Arsenic, le réalgar (As_2S_2) et l'orpiment (As_2S_3) en affleurements de filons ou dépôts de sources thermales.

Enfin l'Arsenic natif n'est guère qu'une curiosité minéralogique ou un indice dans les recherches.

Gisements

Il y a quelques mines qui exploitent l'arsenic seul.

En Angleterre, les mines de Devonshire, de Cornwall, exploitent des mispickels associés à Bi, Mo, W, à gangue quartzeuse et fréquemment aurifères. Les mispickels aurifères étaient jadis difficiles à traiter, laissés de côté ; ils constituent une réserve pour l'avenir ; dès à présent l'Arsenic est un sous-produit de certaines mines d'Or. L'Or est plus fréquent dans les mispickels que dans les pyrites et la teneur semble parfois croître avec celle de l'Arsenic.

En Bohême, la mine de Joachimsthal exploite des mispickels.

En Allemagne, les mines de la région de Freiberg donnent quelquefois de l'arsenic natif contenant jusqu'à 4 % d'argent et résultant probablement de l'altération et de la réduction du mispickel.

En Transylvanie, on trouve du réalgar et de l'orpiment aurifères.

Statistique

En 1910 l'Angleterre a produit environ 3000 tonnes d'Arsenic, la France 2400 tonnes, l'Espagne 2000 t., le Portugal 1600 t., les Etats-Unis 1200 tonnes.

Antimoine.

Il a une assez grande analogie avec l'Arsenic et forme des sulfo-antimonures complexes. Le seul véritable minerai d'antimoine est la stibine (Sb_2S_3), analogue à l'orpiment (As_2S_3), mais jouant un rôle beaucoup plus important. Les oxydes, sénarmontite (Sb_2O_3) et valentinite ou exitèle (Sb_2O_3) sont beaucoup plus rares.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Usages

L'Antimoine est un des métaux les plus anciennement connus; on en a trouvé des représentants dans les fouilles égyptiennes. Pendant toute l'antiquité, et en particulier chez les Romains (et de nos jours encore en Orient), il était employé dans la pharmacie et la parure; les deux usages se sont conservés jusqu'à nos jours. Les médicaments à base d'antimoine, très en vogue au Moyen Âge furent ensuite prohibés pendant un siècle; actuellement ils reprennent une certaine vogue. Le sulfure d'antimoine sert encore actuellement dans la composition de certains fards. (Khol, etc.)

L'usage le plus important est la confection des alliages. Introduit en faible proportion dans le plomb, il permet le laminage en feuilles minces, à l'opposé de l'arsenic qui donne du "grenu". A cet effet, il faut donc éviter les minerais d'Antimoine qui contiennent de l'Arsenic.

Il entre pour 15 à 20 % dans la confection des caractères d'imprimerie, pour 14 à 15 % avec un peu de bismuth dans celle des stéréotypes.

En alliage avec le plomb et le bismuth, il sert à la fabrication de planches de stéréotypie. Il permet la composition d'alliages fusibles, malléables ou antifriction dont on peut faire varier les propriétés, l'éclat, la couleur, la malléabilité, etc. (Métal de la Reine, Alliage d'Alger, de Réaumur, etc.) où entrent aussi du Sn, Cu, Bi, etc.

L'industrie chimique fabrique du beurre d'Antimoine. – L'industrie des couleurs l'utilise pour la fabrication de l'oxysulfure rouge (vermillon d'Antimoine), du noir de fer, des jaunes de Naples, Dinard, Mérimée, etc.

Statistique

Par moments les emplois industriels provoquent un relèvement des cours, qui permet la réouverture d'un grand nombre de petites mines fermées pendant la période de baisse. Il se produit alors une surproduction qui amène une baisse. Les cours sont donc sujets à des dénivellations brusques, dès qu'ils atteignent les cours limites d'exploitation de groupe de mines déterminées. La production française est prédominante avec les exploitations de la Lucette, du Plateau Central, de la Corse et de l'Algérie.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On trouve en outre des gisements au Portugal (bassin silurien et houille du Douro), en Italie et au Japon.

En 1910, on compte 7900 tonnes pour la Chine, 5500 tonnes pour la France, 670 tonnes pour la Hongrie, 400 tonnes pour l'Italie, 200 pour le Japon.

Les produits marchands sont le Régule (antimoine métallique) et l'antimoine cru (sulfure liquaté) obtenu par fusion pour éliminer la gangue quartzeuse. Les cours exprimés s'appliquent tantôt à l'un, tantôt à l'autre. La valeur des minerais est très variable suivant la teneur : au-dessus de 50 %, ils sont excellents; au-dessous de 30 % ils sont difficilement vendables. La présence de l'arsenic, du plomb et du cuivre les déprécie beaucoup. On paie l'unité-métal entre 2 f. 50 et 5 f., soit 3 f. 50 ; le métal à 10 % vaut donc environ 35 francs. Mais son prix augmente jusqu'à 10 francs avec la teneur ; ainsi du métal à 50 % vaudrait 500 francs, du métal à 75 % - 750 francs.

L'antimoine se trouvant souvent en poches, les bénéfices sont parfois considérables (frais d'extraction en moyenne 20 à 25 frs. la tonne) mais très irréguliers.

Nature des gisements.

On doit mettre à part les Sulfo-antimoniures qui forment des gisements insignifiants sans importance industrielle. Les véritables gîtes sont ceux de Stibine.

I.- Gîtes dans la chaîne hercynienne.- Ils sont fréquemment associés à d'autres sulfures, dans des filons quartzeux irréguliers en relation avec la microgranulite. On y trouve du quartz, de la stibine, de la pyrite de fer, quelquefois de la pyrite cuivreuse, un peu de Molybdénite (MoS_2). Ces filons antimonieux se transforment souvent en filons plombifères, quand on s'éloigne des massifs de microgranulit (Ils sont peu exploités ; car le plomb et l'antimoine se déprécient naturellement), puis en filons où la galène est seule.

Ces gîtes sont associés à des roches d'origine assez profonde, dans des régions de plissements anciens.

Ceux du Centre de la France (Allier, Puy-de-Dôme, Haute Loire, Cantal) sont au contact immédiat des microgranulites et des terrains primitifs ; il y a là une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

quantité de filons de stibine. Certaines exploitations ont été particulièrement riches, comme celle de Mérinchal. Les microgranulitsont ici un âge très bien déterminé : elles recoupent le Dinantien et se trouvent en galets dans le Stéphanien. On rencontre aussi des imprégnations de stibine éparses dans le grès et les tufs, sans valeur industrielle. Tous ces gites sont donc bien de la fin du Dinantien.

Plus au Sud, les gisements de Freycenet et de La Licoulne (Haute Loire) présentent un bon type de filon de Stibine compacte, ayant jusqu'à 40 centimètres de puissance, contenant 8 à 10 % d'Antimoine ; quelquefois même 25 % avant Triage. Dans son ensemble le filon est assez continu ; mais il est formé d'une série de lentilles de 20 à 25 cm. d'épaisseur sur 5 à 6 m. de longueur, dans l'intervalle desquelles il n'y a pas de minerais. Il n'y a donc pas ici de phénomène de rubannement, parallèle aux épontes, comme dans les gîtes d'étain

Les mines de la Lucette ont pris un grand développement à cause de la présence simultanée de la Stibine et de l'Or, l'association des deux métaux permettant une exploitation plus régulière et plus continue. Les gisements sont assez réguliers : ils tiennent à 90 m de profondeur environ 45 gr. d'or par tonne.

Gisements du Portugal. — Les gisements du bassin du Douro (Val. longo, Gondomar, etc.) ont des caractères analogues : ils sont aussi aurifères. Les filons quartzeux suivent une cuvette allongée de terrains siluriens et houillers.

Les gisements du Harz et de la Bohême sont aussi du même type. Le gisement d'Arnoberg en Westphalie a l'allure d'un filon-couche, analogue aux imprégnations du Dinantien de la Creuse, qui a fait croire à des dépôts sédimentaires. Ils sont accompagnés de pyrite et d'un peu de blende.

Les gisements des Cévennes (Charrues) forment des imprégnations analogues à des filons-couches. Ils n'ont pas d'importance industrielle.

Gisements tertiaires. — Ils se trouvent dans des régions disloquées par des plissements de l'époque tertiaire ; la stibine y est associée au groupe B. P. G. Blende, Pyrite, Galène) ; et quelquefois au Mercure. Cependant dans certains cas, la citation du Mercure est inexacte ; on a confondu le Kermès (oxysulfure d'Antimoine) avec le Cinabre ($Hg\ S$).

Ce type correspond à des dépôts d'eaux chaudes, il est accompagné de minerais

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

d'Arsenic (réalgar, orpiment) qui se sont déposés dans les mêmes conditions.

Dans certains cas, l'Antimoine a pu être redissous et reprécipité par substitution dans certains terrains antérieurs.

Toscane. — Les gisements de Monte-Amiata présentent des plis et cassures Nord-Sud très minéralisés par de l'antimoine et du mercure. La mine Jano a des filons de Stibine dans des dolomies liasiques; mais à côté on trouve des imprégnations jusque dans le Tertiaire.

Algérie. — Les gisements de Djebel Hamimat (Constantine) traversent le Néocomien, dont le calcaire a subi une imprégnation par petites veinules ayant l'allure de filons-couches, tellement que Coquand les a décrits comme gîtes d'origine sédimentaire, où l'oxyde d'Antimoine aurait été contemporain du dépôt et aurait joué le rôle de l'oxyde de fer dans d'autres gisements. Il s'agit en réalité de produits d'altérations superficielles (valentinite, sénarmontite et Kermès) dont on a exploité quelques petits dépôts. Ces gisements ont joué un rôle notable au point de vue industriel. Le minerai est bien cristallisé en beaux octaèdres.

A ce type appartiennent les gisements du Japon, du Mexique, du Colorado et de la Californie.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Bismuth et Molybdène

Le Bismuth et le Molybdène tiennent à la fois des métalloïdes et des métaux. La nature de leurs gisements les rattache surtout à l'arsenic et à l'antimoine.

Bismuth.

Usages.

Le Bismuth étant très fusible, cette propriété est utilisée dans la fabrication de certains alliages servant surtout à déterminer la température des vapeurs. On l'emploie également pour le clichage des médailles, pour la fabrication de soupapes de sûreté, etc.

Il a quelques applications assez importantes en médecine et dans la fabrication des fards (blanc de perle).

Tous ces usages sont du reste assez restreints et la production est assez faible. Jusque vers 1870 les mines de Saxe produisaient la presque totalité du bismuth consommé dans le monde. A l'heure actuelle, et depuis 1870 environ, la Bolivie, le Mexique et l'Australie ont pris une place prépondérante dans la production. En 1910, la Bolivie a fourni 200 tonnes, le Queensland 21 tonnes, le New. South. Wales qui a fortement diminué depuis 1905, 6 tonnes.

Minerais

Le Bismuth natif est plus fréquent que l'Arsenic. On ne le rencontre qu'aux affleurements ; en profondeur, il est associé à l'Arsenic et aux éléments de la famille du soufre (S, Se, Te)

Le minerai principal est la bismuthine (Bi_2S_3), gris-blanc, en baguettes, caractérisé par sa grande fusibilité.

Parmi les Oxydes de Bismuth, le Bismuth oxydé ou Bismuthocre (Bi_2O_3) est l'analogue de la Sénarmontite et de la Valentinite (Sb_2O_3).

Des minerais complexes sont formés essentiellement de sulfobismuthures

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

comparables aux sulfoantimoniures. Leur véritable nature est d'ailleurs masquée par la terminologie chimique qui considère le Bismuth comme un métal, tandis qu'il paraît jouer réellement le rôle d'un métalloïde.

Les carbonates de bismuth se rencontrent aux affleurements des gîtes.

Modes de gisements.

I.- Gîtes filoniens d'Etain. - Quand les filons de cette nature perdent leur caractère stannifère et se chargent en Cuivre, le Bismuth apparaît.

Bolivie. - On rencontre à la fois l'étain, le cuivre, l'or et le bismuth. La région bismuthifère de Bolivie est une région métallifère extrêmement riche; mais elle est située à une altitude très élevée (5000 à 6000 mètres) et d'accès assez difficile. Les centres principaux sont Chorolque (5600 mètres) et Tazna (5100 mètres). On a d'abord exploité pour l'or (celui-ci a été abandonné; il tend à être repris sous une autre forme), puis pour l'argent, puis pour le Cuivre argentifère et l'étain dont l'extraction a donné lieu à de grandes installations. Enfin on a procédé à l'extraction du Bismuth.

Les filons de Tazna ont une puissance qui atteint 1 m. Ils renferment de la cassitérite ($Sn O_2$), de la chalcopyrite et de la bismuthine ($Bi_2 S_3$). Les produits d'altération en affleurements sont particulièrement riches et renferment des oxydes et carbonates.

Norwège. Les filons y sont du même type que le précédent; ils n'ont guère de valeur industrielle. Ils contiennent à Bleka (Sud de la Norwège) une association de pyrite cuivreuse, de bismuthine et d'or natif dans le quartz.

L'association d'or natif avec la bismuthine et les sulfoséléniures ou sulfotellurures de bismuth est assez fréquente. Elle doit être comparée à l'association avec les sulfo-arséniures, sulfotellurures, sulfo-antimoniures, avec le mispickel, la stibine.

Cette association a un certain intérêt pratique; car la présence de minerai bismuthifère, dont les enduits superficiels sont toujours faciles à reconnaître (Tricotis), peut constituer un indice intéressant dans la prospection des mines d'or et sert même à tirer certains minerais d'or.

Corrèze. - Le gisement de Meymac, unique en France et sans importance industrielle, est en relation étroite avec les gisements stannifères et antimonifères. Dans les grandes masses de granulite de la région, il y a de toutes parts des filons stannifères que l'on prospecte actuellement comme filons d'Or; on y

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

trouve parfois du Tungstène et du Bismuth.

A Meymac, il existe en surface une forte proportion de Bismuth (sous forme d'oxydes, de carbonates, d'hydrocarbonates, de phosphates, dont l'exploitation est facile), et de schéelite (WO_4Ca) qui passe en profondeur à du Wolfram [$(Mn\,Fe)WO_4$]

II. – Gisements complexes du type plombeux. – Outre le plomb et le bismuth, ces gisements comprennent Cu, Ag, Co (quelquefois Ur). Ils ont perdu de leur importance industrielle, car le bismuth n'y joue qu'un rôle très accessoire; on les rencontre dans la région de Schneeberg, Annaberg, en Hongrie, au Mexique, au Colorado.

Molybdène.

Usages

Le molybdène a été longtemps à peu près inutilisé. Il a servi ensuite dans l'industrie des matières colorantes, dans la fabrication de certains verres et de porcelaines. Depuis 10 ou 12 ans, il a un autre usage qui, par sa nature même, devait prendre une extension considérable; il sert en effet à la fabrication d'aciers spéciaux.

En 1910, le Queensland a produit 107 tonnes de Molybdène et le New South Wales 48 tonnes.

Types de gisements.

On ne connaissait tout d'abord que les gisements de molybdénite (MoS^2) dans les filons de quartz, dans des conditions analogues à celles où l'on trouve la Stibine, la Cassitérite, le Tungstène, avec tendance à l'association avec la chalcopyrite. Ce type de gisements (Veines de remplissage irrégulières de Chalcopyrite avec un peu de Molybdénite) a été exploité pendant longtemps. Puis on a découvert un type différent, résultant d'altérations superficielles donnant lieu à des molybdates de plomb, sur les affleurements des filons de plomb, où on les trouve associés à des minerais divers, pyromorphite, mimétèse, cérusite, etc. Dans ces minéraux le phosphore provient des traces contenues dans les roches encaissantes, l'arsenic des mispickels. En profondeur le molybdène semble disparaître, à moins toutefois qu'il ne subsiste sous forme de très minces aiguilles de molybdénite

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

intercalées dans les clivages de la galène. Cette question n'a pu être élucidée par l'examen microscopique; on en est réduit aux essais chimiques qui portent sur de trop faibles proportions pour donner des indications bien nettes.

Il faut enfin signaler l'association du Molybdène avec le Phosphore et le Vanadium.

Suède

Les gisements de l'archipel de Westerwick (S.E. de la Suède) sont constitués par de la molybdénite dans des filons qui contiennent du quartz, du feldspath, de la pyrite cuivreuse; ce sont en réalité des filons de granulite et de pegmatite où certains sulfures s'isolent en mouches très fines au milieu de la roche. Les paquets de molybdénite n'atteignent que rarement des poids de 1 à 2 kilogs.

En 1880, année particulièrement fructueuse, on a extrait, pendant l'été, 600 kilogs de minerai pur.

Norwège.

Les gisements situés près Svolvaer (îles Lofoten), comprennent des filons assez développés de molybdénite et de pyrite cuivreuse dans des schistes siluriens métamorphiques, avec allure de filons. couches si irrégulières que l'exploitation a du être arrêtée.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Silicium

Le silicium intervient dans la composition d'une foule de minéraux, soit sous forme de *Silice* soit sous forme de *Silicates*.

La silice ($Si O_2$) forme l'élément essentiel des sables quartzeux, (utilisés pour la fabrication du verre), du silex, du cristal de roche, des calcédoines (cornaline, jaspe, onyx), opales, tripolis, etc...

Les silicates comprennent les différents feldspaths : pierre de lune (orthose), pierre d'amazone (microcline), pierre de soleil ou aventurine (oligoclase), labrador, et leurs produits de décompositions (kaolins, etc...), ainsi que les lapis-lazuli, les micas, l'amiante, les ardoises, les gemmes : topaze, émeraude, olivine, grenat, péridot, etc...

I - Silice

Sables de verrerie.

Dans la composition des verres blancs et des glaces intervient une proportion de $Si O_2$ telle que la quantité d'oxygène qu'elle renferme représente 4 fois l'oxygène des bases et des alcalis. Dans certains verres (verre de Bohême, etc.) plus fusibles et moins résistants, ce rapport est égal à 3 ; il est encore plus faible dans les verres à bouteilles, où on augmente la proportion de chaux et où on diminue celle de silice.

Les sables communs n'ont aucune valeur. Au contraire les sables quartzeux très blancs et très fins ont un certain prix ; ils doivent pour cela être absolument exempts de fer.

Certains gisements, tels que les sables de Fontainebleau et de Nemours, etc.. ont à ce sujet un véritable privilège et donnent des produits que l'on peut exporter au loin malgré leur valeur relativement minime (15 fr. la tonne rendue dans un port).

Cristal de roche.

Le cristal de roche est utilisé en optique ; il l'était autrefois aussi en orfèvrerie.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Si les petits échantillons sont fréquents, les individus d'une certaine dimension sont relativement rares; les plus beaux échantillons proviennent de Madagascar et du Brésil. Ils peuvent atteindre 1 à 2 mètres de périphérie et peser 300 à 400 kilogrammes. On les rencontrerait dans des alluvions. Les échantillons du St-Gothard, du Tyrol, de l'Oisans vont aux collections de minéralogie et sont rarement utilisés dans l'industrie. Les cailloux du Rhin, utilisés parfois en joaillerie pour des bijoux de qualité secondaire, sont constitués par du quartz roulé.

Quartz enfumé.

On a remarqué que le quartz hyalin, sous l'influence du radium, se transformait en quartz enfumé; on a donc émis l'hypothèse que les grottes des Alpes, où l'on trouve jusqu'à 20 tonnes de quartz enfumé, avaient été parcourues par des eaux radioactives, lesquelles auraient agi sur le quartz primitivement hyalin.

Calcédoines.

Parmi leurs diverses variétés on peut citer les Cornalines et les Agates; elles se trouvent presque toujours dans les géodes de roches volcaniques. Elles viennent principalement de l'Inde (région de Bombay) où on exploite un conglomérat ancien, où ces agates, résultant de la décomposition des trapps, ont été concentrées et cimentées. On les désagrège et on les sépare d'après leur couleur. Celle-ci peut être modifiée par la cuisson qui est effectuée dans de petits pots en présence de fumier que l'on fait brûler lentement. On peut, du reste, colorer artificiellement les agates en les plongeant dans un bain de teinture. C'est ainsi que l'on obtient les agates bleues.

Opale

Elle est recherchée en bijouterie quand elle présente certaines qualités et en particulier certains reflets. L'opale de Hongrie a une grande supériorité. Les opales du Mexique sont généralement de moindre qualité. Cependant quelques unes sont recherchées (opales de feu ou opales chatoyantes).

On les rencontre dans des druses de roches trachytiques où s'est faite

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

une concentration de la silice. Parfois les druses sont remplies de calcédoine et le bain liquide primitif chargé de principes salins a été emprisonné dans des inclusions.

II. Silicates

Mica

Il a des applications industrielles. On l'emploie sous deux états: 1°) à l'état pulvérulent à divers usages, l'argenture et le satinage des papiers de tenture, par exemple. Sa valeur est alors à peu près nulle car on utilise surtout des déchets de mica. 2°) en grandes feuilles dont la superficie peut être de plusieurs mètres carrés. L'usage de ces feuilles tient à la réunion des qualités de transparence, de flexibilité et d'infusibilité du mica. On les emploie, par exemple, dans les poêles, dans les fumivores, dans les écrans, dans certains fours métallurgiques, en électricité.

Les sources principales sont le Canada et l'Inde. - Au Canada, les exploitations de mica blanc (muscovite ou mica blanc) se trouvent dans la province de Québec et fournissent plusieurs tonnes chaque année. On a rencontré des cristaux ayant jusqu'à 1 mètre de côté, pesant 140 kilogrammes et valant une douzaine de mille francs. L'exploitation consiste à détacher, sans les briser, les cristaux de mica engagés dans des veines de pegmatite. Le prix est plus que proportionnel aux dimensions des cristaux. Un cristal de 5 cm. de côté pourra valoir environ 12 fr. alors qu'un cristal de 15 cm. vaut environ 350 à 400 francs.

Amiante.

On distingue 2 qualités industrielles:

1°) l'amiante en *fibres courtes* employée pour l'obturation des joints dans les machines, les culasses des canons, comme isolant en électricité, pour le filtrage des liqueurs, acides, etc... Cette amiante de qualité inférieure est fournie par la Trémolite, du Val Tremola (Saint-Gothard), du Val d'Aoste, etc.. (environ 100 tonnes par an);

2°) l'amiante en *fibres allongées* qu'on traite comme un textile et qui sert à la confection de cordages, d'étoffes incombustibles.

Le Canada en fournit des quantités importantes; elle s'y rencontre sous

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

forme de chrysotile fin et soyeux, enchâssé dans la serpentine. Les variations de prix et de production y sont considérables.

Ardoises.

L'ardoise est un schiste argileux, dur, fissile, noir, rouge ou bleu, peu altérable à l'air et à l'humidité, facile à réduire en feuillets minces. Elle est employée à la couverture des toits depuis le X^e siècle. Sa consommation s'est développée progressivement avec le développement des moyens de communications. Les ardoises de grandes dimensions, d'une valeur relativement beaucoup plus élevée que les ardoises de toiture, sont employées comme tables de billard et de cheminées, tableaux noirs, mangeoires d'écuries, isolateurs électriques (tableaux de distribution).

Les qualités exigées d'un schiste pour être une ardoise sont :

1°) de pouvoir être réduit en feuillets minces. Diverses roches peuvent l'être; mais elles sont généralement d'un grand poids, ce qui est un inconvénient sérieux, sauf dans les pays de grand vent, comme en Suisse.

2°) d'être inaltérable. L'altérabilité générale de l'ardoise est une conséquence de sa porosité. Elle est loin d'être négligeable, ainsi qu'en témoigne la décomposition qu'on observe à l'affleurement des veines d'ardoise, et elle se fait généralement en 50 à 60 ans. Elle varie d'ailleurs avec la provenance : l'ardoise de l'Ardenne par exemple a une durée plus longue que l'ardoise d'Angers. Il y a en outre une altérabilité locale due à la présence de la pyrite de fer. En effet, celle-ci se transforme en sulfate et laisse un trou par lequel l'eau pénètre. Un mode d'essai très simple d'une ardoise consiste à la plonger dans l'eau jusqu'au tiers de sa hauteur; l'ardoise est de bonne qualité si, au bout de 24 heures, la partie supérieure reste sèche.

Gisements. — Les ardoises se rencontrent dans les terrains où le métamorphisme a affecté l'argile, dans le Cambrien et le Silurien notamment.

Ardenne. — Les ardoises de l'Ardenne se trouvent dans les régions de Fumay, de Rimogne et de Deville (étage devillien). Elles dépendent des différentes zônes schisteuses constituant le Cambrien de l'Ardenne.

Le centre principal d'extraction est Fumay. Le banc le plus important a une puissance maxima de 8 mètres; son inclinaison, très variable, est en moyenne de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

25°, ce qui crée des difficultés d'exploitation; l'ardoise est tachée de rouge, de violet ou de vert.

Angers. – Les principales exploitations françaises d'ardoise se trouvent dans la région d'Angers; elles appartiennent au Silurien; elles forment des bancs très redressés entre les schistes à graptolites, à leur base, et les assises de minerai de fer.

Elles forment des bancs à peu près verticaux que les ouvriers appellent des veines; la puissance de ces veines peut atteindre 100 m. Ces ardoises constituent un accident pétrographique dans les schistes au milieu desquels elles forment des lentilles.

A la différence de l'Ardenne, il n'existe pas de grès intercalés entre les bancs d'ardoise. La principale exploitation, Trélazé, date du Moyen-Age, époque à laquelle on traitait les affleurements. Actuellement on procède à l'exploitation souterraine dans de grandes chambres de 80 à 100 m. de largeur, au milieu desquelles se trouve le puits d'extraction.

La présence de plans de cassure peut rendre le travail dangereux, ainsi que le démontrent les éboulements survenus autrefois à Trélazé; aussi emploie-t-on maintenant une méthode d'exploitation par tranches successives avec remblai. On a alors une série de petits accidents, au lieu d'un seul grand; le résultat total est un peu meilleur.

On cherche à mettre à nu le banc sur une grande surface, de façon à obtenir de grandes dalles entre deux cassures.

Les produits extraits sont travaillés sur le carreau de l'ardoiserie, clivés, fendus et triés en grandes ardoises et petites ardoises.

La production du bassin d'Angers est d'environ 400 millions d'ardoises par an dont les 3/4 au moins, peut-être les 7/8, sont exportés. Le prix de l'ardoise a sensiblement baissé depuis quelques années. Ce produit a subi en effet une certaine défaveur et a été concurrencé par la tuile, par le zinc et par la tôle ondulée pour la couverture des usines. Le prix de vente est passé de 30 à 20 frs. le mille. Il est actuellement au voisinage de 25 francs.

Pays de Galles. – L'extraction y atteint 400.000 tonnes par an valant environ 35 millions de francs et occupe 14 à 15.000 ouvriers. Les ardoises se rencontrent à partir du Cambrien inférieur (Penrhyn; 3000 ouvriers), dans le Silurien, niveau correspondant à celui d'Angers (Llandeilo, Festiniog).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Feldspaths et Kaolins.

Le Feldspath, très fréquent dans la nature, n'a de valeur que s'il a de grandes dimensions. On l'emploie en céramique pour les couvertes. Il n'a qu'une faible utilisation comme produit d'ornementation.

Les Feldspaths se décomposent et donnent des argiles qui sont des silicates d'alumine hydratés à composition chimique variable. Lorsqu'on étudie leur température de déshydratation on arrive à déterminer 4 ou 5 groupes. Le plus important est celui des Halloysites, qui comprend les argiles sédimentaires et une grande partie des argiles chimiques. Le Kaolin est fort peu différent des Halloysites et ne s'en distingue que par la quantité de chaleur dégagée. Les autres groupes, l'allophane, la pyrophyllite, etc.. sont sans intérêt pratique.

Toutes les argiles proviennent, en dernière analyse, de la décomposition des feldspaths avec intermédiaires plus ou moins compliqués. C'est en somme le résidu de la décomposition chimique de roches quelconques ; cependant, dans certains cas, cette décomposition peut donner naissance à des bauxites ou à des latérites (voir plus loin, au chapitre Aluminium).

Les argiles sédimentaires se sont déposées dans l'eau avec plus ou moins de lenteur, et on trouve tous les passages de l'argile pure à l'argile sableuse ou calcaire. L'argile est traitée sur place pour la fabrication des briques ou des tuiles.

Kaolin.

C'est l'élément essentiel de la porcelaine. On l'employait depuis longtemps en Chine avant qu'un missionnaire ne le retrouvât en Europe et, au 18e siècle, n'introduisit cette industrie de la porcelaine en Saxe ; puis on découvrit les gisements de St Yrieix et on édifia la manufacture de Sèvres en 1756. La production du Kaolin a été longtemps monopolisée par la région de St Yrieix. Les Kaolins anglais prirent ensuite une importance croissante ; mais pour les produits de qualité supérieure, St Yrieix a conservé sa prépondérance. Le prix du Kaolin de St Yrieix peut atteindre la valeur de 120 francs la tonne ; les Kaolins anglais qui sont de deuxième qualité ne valent guère que 60 à 70 francs la tonne.

Le Kaolin est le résultat constant de la décomposition du Feldspath ; sa formation a fait autrefois l'objet de théories basées sur des expériences de laboratoire à l'aide

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

de réactions chimiques rapides sur des liqueurs concentrées, bien différentes des conditions naturelles réelles, qui se passent lentement et ont lieu sur des liqueurs très diluées.

On avait conclu du résultat de ces essais à une action profonde d'origine filonienne ; mais l'observation n'a pas confirmé cette hypothèse. Il n'est plus contestable que le kaolin est toujours d'origine superficielle, l'altération pouvant se prolonger plus ou moins profondément suivant la position du niveau hydrostatique. En Limousin le niveau est peu profond et les carrières atteignent vite la roche inaltérée. En Bourbonnais la profondeur est un peu plus grande : environ 60 mètres. Dans les filons argentifères du Broken-Hill l'altération descend beaucoup plus bas et atteint 200 à 300 mètres.

Le facteur essentiel de cette oxydation est l'eau chargée d'acide carbonique. Les feldspaths du granite subissent une kaolinisation très rapide donnant naissance à l'arène granitique (1) ; la vitesse du phénomène est beaucoup augmentée par l'intervention de chlorures : le voisinage de la mer est par suite une condition favorable à la transformation. Dans les carrières de kaolin on observe que l'altération suit toujours les filons de quartz et ce fait s'explique aisément ; le filon a en effet joué le rôle de drain pour les eaux. (2) Les éléments métalliques du filon (pyrite, etc...) sont de plus intervenus pour augmenter l'altération, surtout lorsque des phénomènes de sulfuration (production d'acide sulfurique qui facilite l'attaque), de chloruration ou de fluoruration se sont produits, comme c'est le cas dans les filons d'Etain. Ces phénomènes s'accompagnent parfois d'une cémentation (kaolins argentifères d'Australie).

Les grandes accumulations de kaolin ont évidemment pris naissance dans les grands massifs de roches à feldspath, c'est-à-dire surtout dans les granulites et les pegmatites.

Bourbonnais. — Les gisements de kaolin se rencontrent dans une colline de 800 à 900 mètres (Les Colettes, Allier) dont le sommet est formé de micaschistes reposant sur une granulite à filons de quartz. Le long de ces filons, le

(1) C'est par suite de ce processus que des blocs de granite s'isolent et donnent naissance à des boules arrondies, déterminant des paysages caractéristiques.

(2) Le fait est si connu que, dans certains pays (Cévennes, etc.), on se procure de l'eau en poussant des galeries jusqu'aux filons de Quartz.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

feldspath a été transformé en kaolin. La décomposition en kaolin s'est faite en laissant à la roche sa structure primitive. Il n'y a eu aucune espèce de transport.

L'exploitation se fait par une série de carrières à ciel ouvert, de 50 ou 60m. Elles fournissent toujours une assez grande quantité d'eau que l'on fait arriver sur les matériaux abattus et qui s'écoule dans des rigoles où se fait un brassage. Le quartz reste sur place, l'argile et le mica sont entraînés et subissent de nouvelles décantations; on les tamise pour enlever le mica et on en confectionne des pains qu'on fait sécher. Elle tient toujours un peu de quartz, de mica et quelques traces de cassitérite dont la présence lui enlève de la valeur.

Limousin. — C'est une région de terrains cristallophylliens très variés (micaschistes, leptynites de couleur claire, amphibolites de couleur foncée) très régulièrement stratifiés. Au milieu d'eux, se sont injectés des filons de pegmatites qui étaient, à l'origine, presque exclusivement feldspathiques et dont la décomposition a, par suite, donné un kaolin très pur, sans quartz ni mica.



Fig. 36

Coupe horizontale d'un filon de Kaolin au milieu de micaschistes.

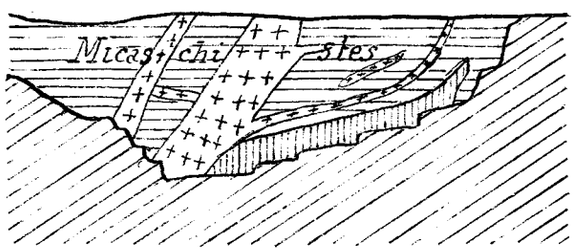


Fig. 37.

Coupe verticale d'une carrière de Kaolin.

Gîtes sédimentaires. — On a quelquefois supposé que certains kaolins avaient été l'objet de phénomènes sédimentaires par suite de préparation mécanique naturelle. Il existe en effet des kaolins sédimentaires; mais ils sont en relation intime avec les roches provenant de la destruction du granite: arkoses, grès arkosiques, etc... Il a donc fallu pour réaliser ces conditions l'existence d'une phase d'érosion mettant à nu des roches cristallines. En France, cette phase se rencontre dans le Trias et jusqu'au Rhétien: on a alors des grès, des grès argileux, des arkoses et du kaolin. C'est le cas des gisements de la Nièvre, situés sur l'emplacement d'une crête granitique, dans le prolongement du grand sillon houiller du Centre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En Dordogne, le groupe kaolinifère repose sur le Crétacé, mais à proximité du granite. On observe la présence de poches d'érosion avec formations détritiques, sableuses, dans lesquelles s'isolent des paquets d'argile, avec de véritables kaolins. On avait admis, à une époque, leur origine gypsienne, en particulier, pour le gite des Eyzies; il est beaucoup plus probable qu'il s'agit simplement de phénomènes de transport.

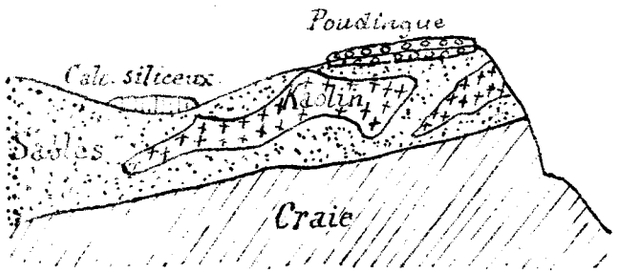


Fig. 38

Coupe théorique du gisement de Queylan, Dordogne.

Gemmes.

Elles se sont produites à peu près toutes dans les mêmes conditions géologiques, par métamorphisme des calcaires et réactions de la granulite. On les trouve soit dans les filons de granulite, soit dans les calcaires, exceptionnellement dans les schistes et ces schistes sont alors granulitisés; ce sont par exemple des fragments de schiste englobés dans la granulite ou un massif schisteux injecté par la granulite.

Topaze

C'est un silicate d'alumine fluoré; on le trouve dans les granulites et les roches qui s'y rattachent, dans les filons d'étain (Montebras). Elle forme quelquefois de très grands cristaux.

La topaze se rencontre dans l'Oural, et surtout au Brésil (Ouro. Preto) avec la phénacite, l'enclase, dans une fente au milieu de schistes micacés.

Emeraude.

Elle se trouve dans les mêmes conditions que la topaze. Gisement de Chanteloube près de Limoges où elle est associée avec les minéraux du groupe de l'Etain,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

avec de la Montebrazite, etc... Les émeraudes industrielles viennent de l'Oural où on les trouve dans les micaschistes avec phénacite, cymophane, etc... En Egypte (Mont. Sabara), les gisements d'émeraude se rencontrent dans les micaschistes. — En Nouvelle-Grenade (Muso), les gisements sont encaissés dans des calcaires néocomiens, métamorphisés, où une certaine proportion de glucine se substitue à la magnésie.

Grenats.

Ils se trouvent aussi dans les mêmes conditions, dans les Granulites et les micaschistes grenatifères de Bohème, du Plateau-Central, etc... Les calcaires métamorphisés par des intrusions de roches éruptives contiennent du grenat, du pyroxène, de l'amphibole. Les grenats industriels viennent surtout des alluvions de Bohème.

On y trouve parfois certains grenats, ayant plusieurs centimètres, que l'on a fait passer au haut-fourneau comme minerai de fer.

Tourmaline.

Elle est constante le long des filons de granulite et des gîtes stannifères; elle y fait partie des émanations fluorées et sulfurées. Les variétés roses, bleues, etc.. ont une certaine valeur en bijouterie.

Les gisements importants sont ceux de l'Ile d'Elbe, de Ceylan, de Birmanie.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Etain.

L'étain a des usages très anciens : on l'a employé sous forme de bronze et d'étain pur. Contrairement à une opinion que l'on a quelquefois émise, l'usage du bronze a suivi, et non précédé, l'emploi du Cuivre pur. Puis le rôle du fer est devenu de plus en plus important. Au Moyen-Age, l'étain a eu une importance prépondérante dans la fabrication des ustensiles de ménage : vases, vaisselle, etc... Cet emploi s'est encore conservé de nos jours, mais avec une importance très réduite.

On l'utilise aujourd'hui sous forme de "papier d'étain" pour envelopper les produits alimentaires (mais ce débouché est concurrencé par l'aluminium). – pour l'étamage des objets de cuisine, – la fabrication du fer blanc (tôle recouverte d'une couche très mince d'alliage et d'étain pur), dans les alliages : bronze, laiton (cuivre et zinc avec un peu d'étain), pour la soudure par les plombiers, ferblantiers, etc..., pour la fabrication des caractères d'imprimerie (20 d'Antimoine, 80 de Plomb + 8 à 10 d'Etain qui donne un grain plus fin et une substance plus tenace).

L'oxyde d'étain est employé dans la poterie, la céramique sous forme de couverte, dans la fabrication des émaux, pour donner de l'opalescence aux verres.

L'étain est encore employé dans la fabrication de quelques produits chimiques : or massif, laques, pourpre de Cassius, etc ...

Statistiques

Production et Cours.

Les cours augmentent constamment. Le prix était de 4500 fr. la tonne en 1800, après s'être abaissé à 2500 fr. en 1890, il a suivi depuis une marche ascendante (3400 fr. en 1907 ; 4500 fr. en 1910 ; 5.300 fr. en 1912) comme en témoigne le tableau ci-contre : ——

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

	Production mondiale en tonnes métriques	Cours moyen à Londres £ par tonne anglaise
1901	89.200	118
1902	91.300	120
1903	96.500	127
1904	98.600	126
1905	96.600	143
1906	98.800	180
1907	97.700	172
1908	107.500	133
1909	108.600	134
1910	111.200	155
1911		205

Détail de la production de l'Etain en 1910.

Angleterre. Minerais indigènes		5.900 t.
Bolivie		18.520
Yunnan		4.500
Australie		4.640
Expédition des Détroits	57.500	73.371
Vente de Bangka en Hollande	13.631	
Vente de Billiton en Hollande et à Java	2.240	
(avec divers) Total approximatif		111.200 T.

Valeur approximative : 435 millions de francs.

La diminution de la production tient à l'épuisement des grands gisements en particulier des gites des Détroits qui ont produit 76.000 tonnes en 1909.

Centres de production

L'Etain provient depuis la plus haute antiquité des Détroits, c'est-à-dire de la région de Malacca anglaise et des îles avoisinantes (Bangka, Billiton et Singkop) hollandaises.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On exploite en outre des gisements en Bolivie, en Australie, en Cornouailles, au Yun-nan chinois. Enfin d'autres pays (Etats-Unis, Afrique, Malacca, Portugal) contiennent des réserves importantes pour l'avenir.

Les *Gisements des Détroits* produisent actuellement environ les 3/4 de la production mondiale.

Dans la partie hollandaise le centre le plus connu est Bangka, Billiton est plus récent; Singkep n'a encore qu'une production très faible.

Les gisements anglais produisent les 3/4 de la production des Détroits. Dans les régions de Perak, Selangor, Negri Sembilan, il se fait toute une série de recherches nouvelles. On estime que Bangka sera épuisé vers 1915-1920; elle a fourni plus de 600.000 T. d'étain depuis l'origine. La production annuelle, jadis de 16000 T., s'est abaissée à 7 à 8000 T. — Le gisement de Billiton, dont l'exploitation a commencé en 1852 et occupe 11.000 mineurs, sera épuisé dans quelques années. — Singkep ne date que de 1887: il ne produit que quelques centaines de tonnes.

Les *Gisements de Bolivie* sont très récents; mais leur production augmente tous les ans, ainsi qu'on peut en juger par le tableau suivant:

Années	Production d'Etain
1900	7.000 T
1905	14.245
1906	16.394
1907	16.594
1908	17.032
1909	18.500
1910	18.520

Les mines sont situées en montagne à une altitude moyenne de 4300 m. et étaient difficilement accessibles autrefois. Les mines les plus importantes sont celles de Potosi, Chorolque, Tazna, etc.. actuellement en voie d'outillage perfectionné. Elles comportent en même temps des gisements de minerais de cuivre.

L'*Australie* a une production très variable, ne dépassant jamais 5000 T; en effet l'exploitation, très facile en surface, le devient beaucoup moins en profondeur.

Les deux régions stannifères sont dans le Queensland (Herberton) et la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Tasmanie (Mount Bischoff) (voir aussi au chap. Cuivre).

La Cornouaille a des exploitations très anciennes, connues depuis l'antiquité, dans les îles désignées par les Romains sous le nom de Cassitérides. La mine de Dolcoath fournit, à elle seule, 1800 T (en 1910) sur la production totale de 5300 T. Les mines produisent en même temps de l'Etain et du Cuivre, fait assez fréquent, ce qui explique pourquoi se trouve si usité l'alliage du Cuivre et de l'Etain (bronze).

Le Yunnan chinois a alimenté la consommation locale depuis très longtemps. Elle était insignifiante il y a quelques années; la production n'est redevenue importante que depuis la circulation du chemin de fer français du Yunnan. Les gisements, plus importants qu'on ne l'avait cru au début, produisent actuellement environ 5000 T; ils se prolongent dans les territoires français, mais beaucoup plus pauvres et disséminés.

Les autres pays ne donnent ensemble que 1000 tonnes; ils ont surtout un intérêt géologique et constituent plutôt des réserves pour l'avenir.

L'Afrique présente 4 groupes =

1°) le Swaziland, à l'est du Transvaal (600 T);

2°) le Transvaal, district de Waterberg (600 T);

3°) la Nigeria, le long de la Bénoué, dont les exploitations vont se développer grâce à la nouvelle voie de chemin de fer;

4°) le Katanga, qui comporte des mines de Cuivre et d'Etain.

Les Etats-Unis ne fournissent encore qu'une production insignifiante (40-50 T); les gisements sont situés en Caroline, Dakota, Alaska.

Malacca présente une arête montagneuse qui prolonge les gisements des Détroits, d'une part vers Bornéo, où les gisements simplement reconnus sont à peu près inabordables au point de vue industriel, et vers la Birmanie où il y a déjà quelques exploitations (70 à 80 T).

Les gites du Laos n'ont jamais donné de bons résultats.

Les gisements d'Europe se trouvent le long de la chaîne hercynienne:

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Bohème, Saxe, France (Villeder, Montebras), Nord du Portugal (Ervedosa, environs de Bragance ....). Peu riches, ils ont cependant joué autrefois un assez grand rôle.

Géologie des gisements d'Etain

Les gisements ont une allure très uniforme en relation avec les roches acides et sodiques, à minéralisation abondante, ayant cristallisé en profondeur sous une épaisse couverture de schistes. Ces conditions de gisements relient l'Etain aux filons de granulite et de pegmatite dans les gisements hercyniens, à ceux de dacite, de liparite, etc..... dans les massifs tertiaires.

On n'en connaît pas dans les plateformes primitives, peu dans les chaînes huroniennes et calédoniennes.

Les gisements sont très inégalement répartis en deux groupes (gisements hercyniens et gisements tertiaires).

Métallogénie

L'Etain était primitivement inclus dans la roche: les concentrations produites au moment de la cristallisation ont donné naissance aux types d'inclusion.

On trouve quelquefois des microlites de cassitérite dans certains minéraux et certains d'entre eux contiennent ½%, quelquefois 1% d'Etain. Un commencement de départ, principalement dans les pegmatites, a donné lieu aux gîtes de ségrégation. Une forme de départ plus accentué consiste en un réseau de fines veinules entrecoupées irrégulièrement, désignées dans leur ensemble sous le nom de *Stockwerk* ou *tinstone*.

Plus le filon est défini et plus la minéralisation est faible.

Les filons nets et continus sont rares et correspondent à des associations minérales différentes.

Dans les stockwerks on trouve des minerais chlorés et fluorés; les sulfures sont rares.

Au contraire, dans le type filonien, les sulfures sont plus abondants: on trouve alors le mispickel, puis la chalcopyrite associés à la cassitérite, ainsi que des sulfures de bismuth et molybdène. Quand on s'éloigne du filon stannifère, la blende devient prédominante et on passe à des filons de blende, contenant de la cassitérite disséminée sous

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

forme de microlites.

Les dacites et les liparites donnent des types filoniens (gites de départ) à minerais complexes où la cassitérite est associée à des sulfures complexes comme en Bolivie (pyrites cuivreuses: sulfures de Bismuth, d'Etain, etc. etc.). L'Or y est assez fréquemment associé à l'Etain.

Minerais

Le seul minerai exploitable est la *Cassitérite*, $Sn O_2$, fréquemment cristallisée Cette forme oxydée différencie l'Etain de la plupart des métaux et le rapproche du Silicium dont le minerai courant est également l'oxyde (silice: $Si O_2$).

La *stannine*, $Sn S_2$, est une curiosité minérologique souvent associée au cuivre et à des quantités très faibles de zinc.

La cassitérite a été obtenue synthétiquement de plusieurs manières, dont certaines semblent se rapprocher de celles de sa formation dans les filons. Les principaux procédés sont: un courant de $Sn Cl_4$ rencontrant de la vapeur d'eau ou de la chaux, au rouge; ou décomposition du fluorure d'Etain, $Sn Fl_4$; ou action directe de l'acide chlorhydrique sur l'acide stannique.

On admet généralement que la cristallisation de la cassitérite a eu lieu dans des conditions analogues, sous l'action de chlorures et de fluorures. On a néanmoins objecté la présence de blende entourée de cassitérite, mais c'est assez rare, et la rareté de la fluorine, ce qui s'explique d'ailleurs par l'absence fréquente de chaux dans les roches associées.

Les *associations* les plus fréquentes sont: le cuivre, l'or (souvent en pépites légèrement stannifères), le bismuth, le molybdène, et surtout le wolfram; le mispickel dont l'association est d'autant plus remarquable que, au contraire de ce qui se passe pour l'Or, on ne trouve jamais d'antimoine avec les minerais d'Etain; une série de fluophosphates et de chlorophosphates de chaux, de soude, de lithine, comme l'apatite, la wavellite, la montebrazite, l'amblygonite; la cryolithe; les micas lithinifères; la tourmaline, l'émeraude, la topaze.

On peut même déceler la présence de l'Etain par des indices tirés de la présence des minéraux associés. Il faut ajouter qu'à l'affleurement des filons d'Etain, la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

kaolinisation est très fréquente; et la décomposition des feldspaths donne des produits jaune-verdâtres, caractère d'ailleurs commun aux filons d'Etain et d'Antimoine.

La *transformation des roches* au voisinage des filons d'Etain est d'ailleurs fréquente; les feldspaths ont été attaqués par le processus qui a amené la fixation de la cassitérite et on rencontre quelquefois des pseudomorphoses de la cassitérite dans les feldspaths, la roche mère étant appauvrie en feldspaths.

Le long des filons stannifères on observe souvent des roches constituées presque exclusivement par du quartz et du mica: schorls, zwitter, greisen où se sont développés de la tourmaline, de la topaze, etc.

Les *roches encaissantes* sont en rapport avec les granites et les granulites; on rencontre l'Etain moins fréquemment dans les calcaires, schistes et grès métamorphiques; enfin, très rarement dans les terrains sédimentaires, où il prend des formes très curieuses (c'est le cas des veines tertiaires dans les calcaires du Laos).

Les variations en profondeur des filons sont fréquentes (voir page 37), mais assez irrégulières dans l'ensemble, quoiqu'on ait formulé des lois valables dans des districts particuliers. C'est ainsi que le gisement de Dolcoath présente du cuivre en surface, et de l'Etain en profondeur, avec passage continu de l'un à l'autre type.

On a constaté aussi des enrichissements superficiels, comme dans les mines de Rammelsberg, déjà connues des Romains, avec remises en mouvement de la cassitérite sur des objets. Les eaux minérales contiennent de même un peu d'Etain en solution.

Types de Gisement.

Les *gisements d'inclusion* sont très fréquents surtout dans les granulites à micas lithinifères. La cassitérite se substitue à la silice dans l'intérieur des micas et au feldspath dans les granites à tourmaline. Elle est parfois en inclusions dans la Blende: en analysant des blendes en rapport direct avec le granite, on y trouve au spectroscope de l'Etain et du Bismuth.

Gisements de la Cornouaille

La Cornouaille est constituée par une presqu'île où l'on observe deux systèmes de plissements sensiblement rectangulaires: NE-SW et NW-SE.

Il y a là une série de massifs granitiques (fig. 39) tous stannifères, mais

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

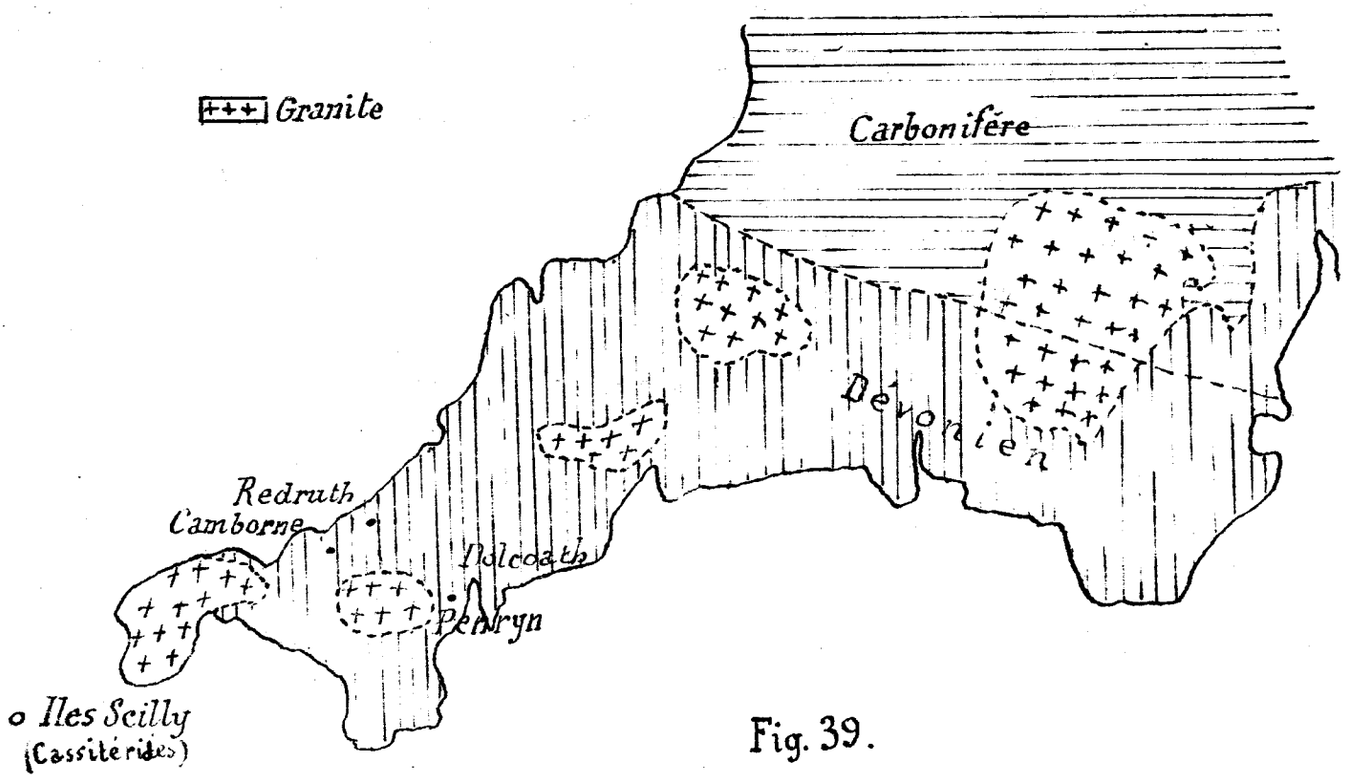


Fig. 39.

Carte schématique de la Cornouaille.

industriellement le plus important est celui dans le voisinage duquel se trouvent les mines de Redruth, Camborne, Dolcoath, Penryn.

Ces massifs ont traversé du Dévonien métamorphique et du Carbonifère, et sont recoupés par des pointements de granulite. L'ensemble est recoupé par des filons d'elvan ou aplite présentant des directions de cassure très marquées et ayant jusqu'à 120 m. de puissance. La même roche se présente aussi dans l'Oural, avec des filons aurifères.

Les gîtes sont toujours cantonnés sur la périphérie des massifs granitiques en offrant tantôt des mines d'Etain, tantôt des mines de Cuivre et Etain.

En s'éloignant des massifs granitiques, on trouve successivement :

1°) des stockwerks cuprifères ;

2°) des filons plus nets où la chalcopyrite s'associe à la blende,

3°) des types franchement zincifères et plombifères.

L'ordre de succession des auréoles paraît assez net. Les gisements s'enrichissent en Etain, quand on se rapproche du granite.

Ces gisements dont l'intérêt réside surtout dans leur grande puissance s'enrichissent en profondeur.

Comme exemple caractéristique, le great flat lode, grand filon dont le type

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

est si rare dans le cas de l'Etain, montre un remplissage à peu près constant de quartz ferrugineux avec grands cristaux de cassitérite englobés dans la roche, et constituant des Schorls, associés à de la tourmaline. La teneur varie suivant les points de 1 à 3% Sn.

En général, les teneurs du tout venant dans les mines varie de 1 à 1,5% Sn. La profondeur maxima atteinte est de 920 m.

Les veines très nettes portent le nom de leader.

Gisements de Bretagne

Exploitations de la Villeder. Elles sont abandonnées depuis longtemps. Ce sont des carrières à ciel ouvert ayant donné d'excellentes coupes. Il y a en général une grande irrégularité aussi bien dans le détail que dans les traits généraux.

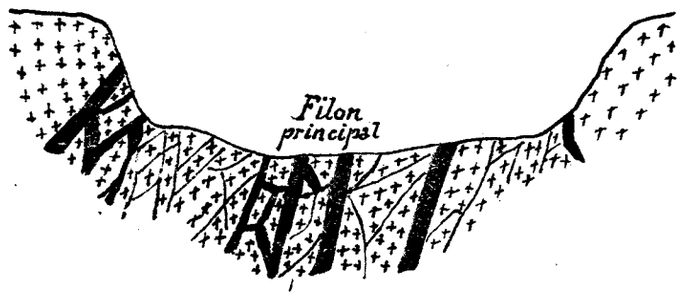


Fig. 40

Coupe des Carrières de la Villeder.

Gisements du Plateau Central.

Ces gisements sont connus depuis la plus haute antiquité, aussi bien au point de vue de l'Etain, qu'au point de vue de l'Or (d'où les noms de localités comme l'Ouvrière). Certains filons de pegmatite contiennent du wolfram, du Bismuth, de l'Etain, de l'Or. Les fouilles étaient très faciles dans les parties kaolinisées ayant donné lieu à des éluvions, comme à Montebras.

Le gisement de Montebras (Creuse) est constitué par un massif de granulite, passant latéralement à la granulite porphyroïde, chargée de topaze. Les filons contiennent tantôt de l'apatite, tantôt de l'amblygonite, tantôt de la cassitérite. Les résultats industriels n'ont jamais été très brillants.

Les gisements de Cieux et Vaulry présentent de la cassitérite et du wolfram.

Gisements du Portugal

La partie N-E du Portugal, au voisinage de l'Espagne, est très riche en Etain et en wolfram, qui sont exploités sommairement et qui rentrent dans les types français.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On a des filons de granulite, pegmatites stannifères, et des filons-couches riches dans les schistes.

Gisements de Saxe et Bohême.

La chaîne de l'Erzgebirge, d'âge hercynien, offre des gisements de Plomb et d'Etain, avec prédominance tantôt de l'un, tantôt de l'autre métal. Les mines les plus connues sont dans la région de Freiberg, à Altenberg, Zinnwald, Graupen, Schlaggenwald. Les gisements sont au contact des dômes de granulite dans les schistes anciens: les zônes riches appelées *Stockschaider* ont une puissance utile de 3 à 4 m. Il existe fréquemment des filons en forme de cuvettes et des veines pénétrant dans les schistes encaissants.

Gisements asiatiques

Une zône stannifère très remarquable commence dans l'Inde et au Yunnan et se poursuit par le Laos, le Siam, la Birmanie jusque dans la presqu'île de Malacca et jusqu'aux gisements des Indes hollandaises: Bangka, Billiton et Singkep; elle se prolonge à Bornéo. Cette zône est en rapport avec des massifs granitiques recoupant les calcaires ouraliens et recouverts par les terrains plus récents, d'âge tertiaire.

Birmanie. — Les gisements de Mergui et de Tenasserim, au sud de la Birmanie, sont exploités depuis longtemps. La cassitérite y est associée au wolfram dans des greisen.

Siam. — Les gisements siamois prolongent ceux de Malacca. Le principal centre d'extraction est Yunk-Seylon où l'on exploite les alluvions par dragages.

Malacca. — A Malacca, on est en présence d'une succession de terrains allant jusqu'au Carbonifère inférieur et métamorphisés par le granite. Ce dernier passe à des granulites à mica blanc, puis aux pegmatites et au quartz.

On y trouve toute une série de minéraux accessoires, comme la topaze et la tourmaline.

Les exploitations ont surtout porté sur les alluvions, mais celles-ci s'épuisent et on commence à exploiter les filons.

Ces derniers se trouvent soit dans le calcaire ouralien, soit dans la granulite. Dans le calcaire les filons sont irréguliers; ils forment des poches ou remplissent des diaclases parfois très épais, ils disparaissent rapidement. Dans la granulite, au contraire, ils sont

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

réguliers et renferment des sulfures métalliques, en particulier de la pyrite de Cuivre et du mispickel. La cassitérite y est en grains fins, atteignant rarement le volume d'une fève, souvent associée à la pyrite cuivreuse. Il y a généralement 1 %, rarement 2 % de Sn.

Les phénomènes d'érosion ont donné lieu à la formation d'*éluvions* sur les versants de la chaîne malaise. Ce sont des sables riches en cassitérite qui passent à un conglomérat dur, ferrugineux, que l'on peut exploiter jusqu'à des teneurs très faibles. La proportion moyenne de cassitérite est de 1 %. Les remaniements ultérieurs des éluvions ont donné naissance à des gisements d'alluvions qui ont leur plus grande richesse au débouché dans la plaine des ravins, venant de la montagne, là où se produit une rupture de pente qui permet la précipitation des sables; en général ces points de concentration maxima ne sont pas distants de la montagne de plus de 1 kilomètre.

Les conditions d'exploitation dépendent des terrains de recouvrement. On a été amené quelquefois à exploiter jusqu'à 24 m. de stériles superficiels; leur épaisseur est généralement de 7 à 8 mètres. Il faut préalablement débroussailler leur surface.

Au-dessous se trouve soit des blocs assez gros à teneurs variables, soit, quand on s'éloigne davantage du gisement originel, des sables plus fins. La couche stannifère a quelquefois 2 à 3 m.; une bonne moyenne est 1 m. 50, mais au-dessous de ce chiffre le travail n'est plus guère fructueux. La teneur a atteint exceptionnellement 5 %; en moyenne elle est de 1 %. On a exploité jusque 0,9 %.

Laos. — Les gisements du Laos n'ont pas d'importance industrielle. On peut citer les petites exploitations indigènes de Ban-Ta-Coua. Il semble que l'on soit en présence d'une alluvion ancienne, passée à l'état de grès poudinguifère, très irrégulier, qui contient de la Cassitérite disséminée.

Les indigènes procèdent à une préparation mécanique sommaire donnant un mélange de cassitérite et de ~~tungstate~~ wolframite avec une assez forte proportion de bismuth, molybdène et cuivre. Le minerai pratique est un mélange d'oxyde de fer et de cassitérite, difficilement purifiable. Les indigènes en extraient l'Etain pour leurs besoins locaux.

Yunnan. — La zône stannifère du Yunnan a eu un grand développement autrefois; elle paraît appelée à nouveau à un grand développement (actuellement 5000 tonnes par an). Elle se prolonge, à la frontière du Tonkin, par quelques petites exploitations intéressant notre colonie (Pia-Ouac.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les filons du Yunnan paraissent un peu plus récents que ceux de Malacca. Ils sont encaissés dans des calcaires permo-triasiques. Leur allure est irrégulière ; ils sont formés de veines de pegmatite avec cassitérite et un peu de cuivre dont la proportion semble augmenter à mesure qu'on s'enfonce.

Ces gisements se rattachent d'ailleurs à un groupe important de mines cuprifères renfermant un peu d'Etain.

Indes hollandaises (Bangka, Billiton, etc.)

Les conditions tectoniques sont les mêmes que dans les gisements précédents : on a affaire à des schistes anciens recoupés par des filons avec phénomènes de métamorphisme ayant donné naissance aux greisen. La cassitérite est associée à du sulfure de fer transformé superficiellement en hématite et même quelquefois en magnétite. Les gisements en place ont donné naissance à des gisements d'éluvions et d'alluvions. Les premiers sont peu développés, les seconds ont donné lieu, par endroits, à deux couches tenant en moyenne 0,8 à 1 % de cassitérite, avec des parties riches pouvant atteindre 4 %.

Australie.

Les gisements les plus importants sont ceux du *Mount Bischof* en Tasmanie. Ils comprennent des schistes et quartzites paléozoïques, grès et dolomies avec des filons de porphyre ou de granulite porphyroïde. Il y a eu production de phénomènes métamorphiques. Ils sont recoupés par des veines stannifères, contenant de la topaze, de la tourmaline, du wolfram, du mispickel, du cuivre.

On a surtout exploité des gisements d'éluvions formés d'empilements de blocs, pouvant atteindre une épaisseur de 20 mètres sur des pentes de 45°. Les exploitations ont aussi porté sur des alluvions.

Dans le *Queensland* les conditions sont sensiblement les mêmes.

Afrique

Les conditions sont encore les mêmes. Les exploitations ont commencé, il y a 5 ou 6 ans, elles se développent et ont un avenir sérieux.

Les régions stannifères sont celles du Swaziland, à l'est du Transvaal,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

du Waterberg, de la Nigeria et du Katanga. Les exploitations industrielles portent surtout sur le Swaziland et le Waterberg. On a des pegmatites stannifères passant au quartz et recouvertes par les formations horizontales du Karoo (Carbonifère). Dans le Katanga, le groupe présente un développement stannifère très remarquable, mais dont l'exploitation n'est pas encore commencée, faute de chemin de fer.

Gisements tertiaires.

Ces gisements présentent des types d'intrusions superficielles. Ils ont surtout de l'importance en Bolivie.

Toscane. — Les exploitations sont abandonnées aujourd'hui; mais elles ont été actives à la période étrusque. L'Etain se rencontre dans des conditions analogues à celles du Laos : poches remplies d'oxyde de fer et de cassitérite extrêmement fine. Les gites sont encaissés dans des calcaires et la formation est en rapport direct avec les veines granulitiques d'âge tertiaire de l'île d'Elbe.

Bolivie. — La région cupro-stannifère se trouve à l'est de la Bolivie, sur le flanc Est du plateau des Andes. Elle occupe une superficie de 1500 x 300 km. L'altitude est considérable. Certains sommets atteignent 6000 à 6600 mètres. Les gisements se trouvent dans la zône jalonnée par les villes de La Paz, Chorolque, Oruro et Potosi.

L'Etain y est associé à un groupe de roches tertiaires recoupant des terrains divers (Primaire, Crétacé). Ce groupe comprend des microgranulites passant progressivement à des types pétrosiliceux (rhyolites). On trouve des filons bien définis en relation avec des dacites, des rhyolites, c'est-à-dire des roches voisines de l'état où elles peuvent s'épancher. La cassitérite est associée à de la pyrite, du bismuth, du cuivre et même à de l'argent et de l'or, dont les gisements superficiels avaient été exploités autrefois.

A Oruro, le gisement est dans la rhyolite; cette dernière a subi une transformation par suite de laquelle le « mica » a été remplacé par de la cassitérite; des phénomènes d'enrichissement superficiel, de nourrissage de cristaux, se sont produits : fréquemment l'Etain a pris la forme d'Etain de bois.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Uranium.

L'Uranium a un certain nombre d'applications surtout pour la fabrication des matières colorantes. Les oxydes d'urane servent pour la coloration des verres et porcelaines. Il a également des applications à cause de sa grande résistance électrique et est employé dans certains alliages métalliques.

Il a une valeur élevée et un emploi restreint; cependant depuis quelques années, à cause des relations de l'Uranium et du Radium, l'exploitation s'en est développée. La production mondiale s'est élevée de 5 T. à 12 ou 15 T. L'oxyde commercial vaut 30 fr. le kilogramme; l'acétate vaut 50 fr.; ces prix sont un peu inférieurs à ceux d'il y a quelques années.

Minerais

Ce sont la *pechblende* ou pechurane ($U_3 O_8$), mélangée à d'autres corps, Molybdène, Tungstène, Fer, Manganèse; les phosphates d'urane, la chalcolite (urano-phosphate de Cuivre), l'autunite (urano-phosphate de chaux).

Ces minerais sont en relation fréquente avec le groupe stannifère. Il y a eu superficiellement des remises en mouvement concentrant les sels d'Urane dans des fissures à l'état de pellicules et d'enduits; ces remises en mouvement peuvent être très récentes; à Madagascar, on trouve aussi de l'Autunite dans des tourbières presque contemporaines. De même les roches au voisinage des minerais uranifères sont altérées et pourries; cependant à Joachimsthal (Bohême), l'Uranium persiste en profondeur et il y est associé à des minerais oxydés.

De même, le Radium est toujours en relation avec des phénomènes d'altération; on le rencontre en particulier dans les eaux et il semble avoir partout une tendance à s'élever de la profondeur vers la surface.

Tout cela est encore très obscur, à cause des phénomènes de transmutation

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisements.

Celui de *Joachimsthal*, dans l'Erzgebirge (Bohême), appartient à une chaîne métallifère qui commence à Freiberg et qui est jalonnée par des cassures et des eaux minérales.

Le filon s'y suit sur 30 km dans des calcaires schisteux, des schistes amphiboliques et appartient à un système de filons se coupant à angle droit, où les filons E.W. sont stériles et où les filons N.S. sont exploités. L'Uranium y est associé à l'Argent et au Bismuth. Les veines de pechblende y sont très étroites; elles ont rarement plus de 3 à 4 ^{cm} et on y trouve de petits débris cimentés par de la pechblende; dans certains cas il existe une certaine proportion de calcite.

Il s'agit là d'un district où les gisements se poursuivent à une grande profondeur; le niveau hydrostatique est à 300 ^{m} de profondeur, ce qui est une gêne pour les travaux; cependant on est descendu au-dessous et on a continué à y trouver des minerais d'Uranium; mais ils sont encore liés à des phénomènes d'altération.

Le Nord du Portugal contient des gîtes d'Autunite, associés à des granulites, dans des conditions analogues à celles où se trouvent dans la même région les gîtes d'Étain et de Tungstène.

A *Madagascar*, les veines d'Autunite se trouvent dans des tourbières.

En *Saône-et-Loire*, on exploite de l'Autunite et des minerais radioactifs associés à la pyromorphite sur l'affleurement des filons de Plomb.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Tungstène

Usages et Statistique.

Ce métal a été longtemps considéré comme une gêne dans les exploitations d'Etain ; il avait peu d'emplois. Aujourd'hui, on l'associe au fer pour la fabrication d'aciers très durs servant pour le travail des métaux, la fabrication de ressorts, etc... Le tungstène durcit les aciers, leur donne une texture plus serrée qui devient soyeuse par la trempe. La teneur des aciers en tungstène est variable :

pour les ressorts ..... 0,6 %
pour les aimants permanents ..... 6 %
pour les outils 2,5 % (+ 1 % de carbone, avec une petite quantité de chrôme et de molybdène.)

Le tungstène est vendu sous la forme de tungstène métallique à 96 ou 98 % et sous celle de ferro-tungstène. La fabrication est surtout concentrée dans le Hanovre.

On utilise aussi pour la fabrication des lampes électriques du tungstène en poudre, formant pâte avec de la gomme ; mais cette industrie consomme peu de tungstène ; car 1 tonne de wolfram suffit à fabriquer 18 millions de lampes.

Le développement du Tungstène est donc lié à l'essor de ses applications métallurgiques.

La production du wolfram, qui était encore de 150 à 200 tonnes, il y a quelques années, atteint maintenant 3000 à 6000 tonnes, suivant les années.

Les Etats-Unis s'alimentent presque exclusivement dans le Colorado. L'Australie fournit 500 T, le Portugal 500 à 600 T, l'Espagne 300 à 400 T, la Cornouaille 300 T. Les Etats malais en produisent également. En France, la mine de Puy-les-Vignes est exploitée, ou non, suivant l'état du marché.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Minerais

Le Wolfram, $(MnFe)WO_4$ est le minerai le plus recherché. Aujourd'hui, avec le traitement électrique, on peut utiliser aussi la Schéelite, $CaWO_4$.

Ces minerais se vendent généralement à la teneur de 50% d'acide tungstique, en spécifiant un maximum pour le phosphore, le Soufre, l'Etain. Les prix en sont variables, et se cotent à l'unité d'acide tungstique : 13 fr. en 1897, 63 fr. en 1907, à cause de la crise américaine, 38 fr. en 1910. A ce prix, la tonne de wolfram ressort à 1800 fr. et la tonne de tungstène à 4000 fr.

Gisements

Les gisements de Tungstène sont presque tous des gisements d'Etain ; leur description est par suite inutile.

En Australie (Queensland), le wolfram existe dans les filons d'Etain ; on trouve aussi de la Scheelite associée à des filons de quartz aurifère.

A Meymac, la Schéelite se trouve dans des gîtes de Bismuth.

A Puy-les-Vignes, les filons contiennent un peu de Wolfram et d'Etain ; ils sont encaissés dans les micaschistes.

En beaucoup de points l'exploitation consiste surtout à reprendre les haldes d'Etain et à faire un triage.

En République Argentine, on a trouvé des filons intéressants par leur extension et leur continuité. Leur accès est difficile ; cependant on les exploite activement (Los Condores). Du granite traverse des schistes métamorphisés ; au contact se trouvent des pegmatites avec tournaline, apatite, fluorine, grenat, et des métaux du groupe du Tungstène Malgré des frais de transport énormes (400 fr. par tonne), on a pu y organiser une certaine production.

Au Pérou (Angaraes), des gisements analogues contiennent une association de wolfram et d'or (sur des échantillons triés, il y aurait 400 gr. d'or par tonne de wolfram).

Il est intéressant d'y noter l'association de l'or avec les minerais du groupe stannifère.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Groupe des métaux alcalins

Potassium.

Le Potassium a des usages très développés, ses sels sont des substances rares et recherchées; on les trouve presque uniquement en Allemagne qui en a le monopole.

Usages

Le *Chlorure de potassium* est la matière première de l'industrie des sels de potasse.

Le *bromure et l'iodure de potassium* sont utilisés en médecine et en photographie; le *cyanure de potassium* sert à extraire l'or, il est utilisé en galvanoplastie, dans l'industrie des prussiates (bleu de Prusse). - Le *foie de soufre* (mélange de sulfate et de polysulfure) sert pour les bains sulfureux. - Le *carbonate de potassium* a des applications dans la verrerie, l'industrie des savons (c'est la potasse du commerce). - L'*hypochlorite de potassium* ou Eau de Javel est un décolorant. - Le *chlorate de potassium* sert à la fabrication des allumettes, des capsules, à l'avivage des teintures, en thérapeutique. - Le *sulfate de potassium* est utilisé en médecine. - L'*azotate de potassium* sert pour la fabrication de la poudre et comme engrais. - Le *chromate de potassium* est un décolorant. - Le *silicate de potassium* donne des verres solubles; il sert à rendre incombustibles diverses matières et à durcir certains calcaires tendres.

Gisements

Le Potassium a été longtemps tiré presque exclusivement de sources organiques. Il vient maintenant à peu près entièrement de Stassfurt et accessoirement d'Alsace. On peut citer aussi le gîte de Kalusz en Galicie.

Le prix du *Kali* est réglementé par le gouvernement allemand, modique à l'intérieur, élevé à l'exportation.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La production de chlorure de potassium a été à Stassfurt:

112000 tonnes en 1884

510000 tonnes en 1910.

On y produit également du sulfate de magnésium et de potassium (33.000 T.) et du sulfate de potassium (55.000 T).

Commencée en 1840, organisée surtout vers 1860, l'extraction des sels de potassium a été la source d'une industrie chimique très développée.

Au point de vue géologique, la potasse se trouve dans toutes les roches; leur teneur toujours assez forte (en moyenne 2,80 %) est inférieure à la teneur en soude (en moyenne 3,60 %). Cette teneur est souvent dépassée (orthose, 17 %; leucite 22 %; micas, biotites, etc.. 9 %). Il y a de plus une certaine influence de la roche altérée sur la végétation; certaines roches décomposées donnent de véritables engrais. Dans certains cas, on a essayé de traiter directement les minéraux potassiques, par exemple la leucite d'Italie, facile à trier à l'œil et par des procédés magnétiques, de façon à obtenir un minerai à 18 % de potassium.

La teneur en potasse des roches est d'ailleurs modifiée par la dissolution et la potasse se concentre dans des bassins d'évaporation.

Gisement de Stassfurt.

D'âge permien, il est, comme le gite tertiaire d'Alsace, dû à des concentrations dans des lagunes et à une évaporation poussée assez loin pour aller jusqu'au dépôt de la Carnallite.

Le gîte de Stassfurt se trouve aux environs de Magdebourg dans la partie supérieure du Zechstein. Les formations y sont très puissantes; le sondage de Sperenberg les a traversées sur 1270 m; mais il n'y a qu'un point où l'on ait trouvé des sels de potassium. Ils reposent sur une puissante assise de sel gemme.

Sous le Pléistocène, affleurent des terrains plissés, suivant une direction NW. SE; un des anticlinaux fait apparaître du Permien, recouvert sur ses deux flancs par des grès bigarrés, du Muschelkalk, des marnes irisées.

La succession est: Jüngeres Steinsalz (Sel récent)

Schiste bitumineux et calcaire grenu (Rogenstein).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Zône du gypse ($SO_4Ca, 2H_2O$) et de l'anhydrite (SO_4Ca)
Zône de la Carnallite ($KCl, MgCl_2, 6H_2O$) associée à la sylvine (KCl), [40m]
Zône de la Kiésérite (SO_4Mg, H_2O), [60m]
Zône de la Polyhalite ($2SO_4Ca, SO_4K_2, SO_4Mg, 2H_2O$) accompagnée de sel impur [60m.]
Zône salifère ancienne avec bancs d'anhydrite [plus de 330 m.].

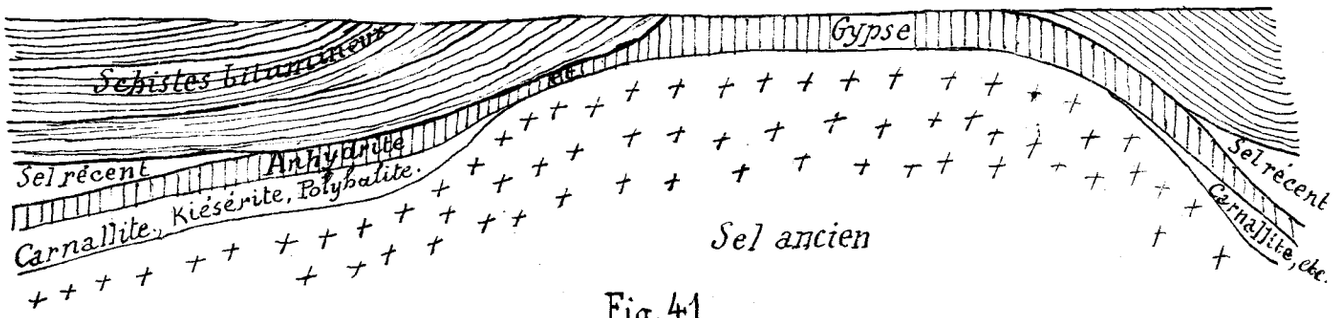


Fig. 41

Coupe transversale du gisement de Stassfurt.

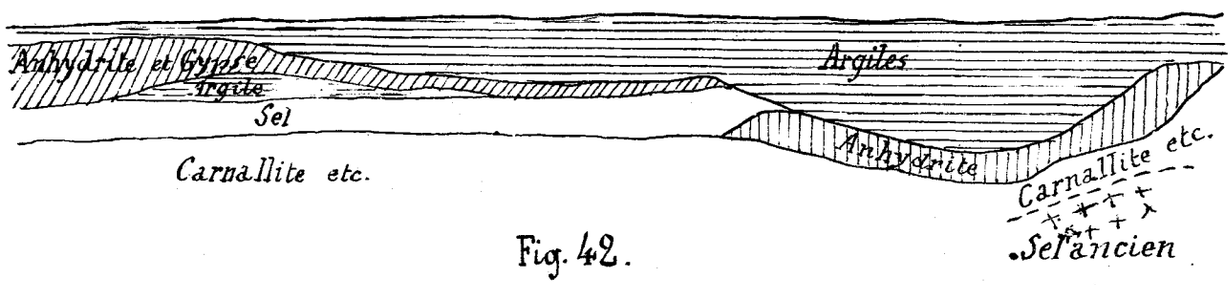


Fig. 42.

Coupe longitudinale du gisement de Stassfurt.

Une coupe transversale donne une succession très régulière; une coupe longitudinale montre une irrégularité beaucoup plus grande; il y a donc eu des phénomènes complexes, contemporains du dépôt. On en retrouve d'ailleurs des traces dans le détail.

Gisements d'Alsace.

Tout récemment découverts et mis en exploitation, ils paraissent devoir prendre une assez grande importance. Les Américains s'y sont procuré d'importantes concessions. Leur découverte a été faite en 1904 à la suite d'une série de sondages Rakey pour la recherche de la houille, au nord-ouest de Mulhouse, à des profondeurs comprises entre 358 et 512m. Une série d'autres sondages furent faits pour reconnaître leur extension; ils s'amincissent

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

au Nord et au Sud et sont coupés brusquement à l'Est et à l'Ouest.

Ils se trouvent dans des terrains très différents comme âge de ceux de Stassfurt, à la base de l'Oligocène. On trouve successivement :

Marnes salifères avec anhydrite et sels de potassium (154 m.)

Marnes schisteuses (108 m.)

Deuxième zône salifère avec sel gemme et gypse (325 m.)

Marnes schisteuses stériles. (172 m.)

Il y a donc eu deux périodes d'évaporation, l'une qui n'a été poussée que jusqu'à la production du chlorure de sodium, l'autre qui l'a été jusqu'à la formation du chlorure de potassium.

Dans la zone potassique, il y a deux couches de sels de potasse (1m et 4 à 5m d'épaisseur), séparées par 20m de petits lits d'argile schisteuse. Le dépôt n'a donc pas été continu. Au dessus et au dessous de la zône potassique, on trouve des couches de sel et d'anhydrite. On trouve dans cette zone potassique des sels différents de ceux de Stassfurt, de la *sylvinite*, chlorure double de potassium et de sodium, pas hygroscopique, stable, qui n'est pas connu à Stassfurt où il y a surtout de la carnallite. Les terrains, où se trouvent les sels potassiques, ont subi des mouvements postérieurs très nets, comme le montre l'allure de leurs courbes de niveau.

Autres gisements

En dehors de ces deux gisements on ne connaît que le gite de Kalusz (Galicie).

Nulle part ailleurs dans le monde, on n'a trouvé de sels de potassium; il est étonnant que nulle part l'évaporation n'ait été poussée à ce stade: peut être a-t-on méconnu les sels de potassium; cependant, dans l'Amérique du Nord, des recherches sérieuses ont été faites dans ce but.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Sodium

Toute l'industrie a pour base le chlorure de sodium.

Usages et Statistique.

Le sodium métallique sert à la fabrication de certains produits organiques, de l'antipyrine, de l'aluminium, des cyanures, etc.. (consommation environ 5000 tonnes). La soude caustique (NaOH) sert dans l'industrie des savons, du papier, le mercerisage, la fabrication de divers produits organiques (acide oxalique). Le chlorure de sodium est employé directement comme aliment et dans de nombreuses industries (vernissage des poteries, mégisserie, engrais, fonte des neiges, grillages chlorurants). Le carbonate de sodium sert d'intermédiaire dans la fabrication de divers sels de sodium; il est utilisé pour la fabrication de l'outremer, de certains verres, la conservation du lait, pour la fabrication des eaux gazeuses, l'industrie des conserves, l'extinction des incendies. Le sulfate de sodium sert d'intermédiaire dans la fabrication de la soude par le procédé Leblanc; il est utilisé en pharmacie et pour le dégraissage des laines. Le sulfite de sodium est utilisé pour la transformation du sucre de betterave; l'hyposulfite de sodium a des applications en photographie; l'azotate de sodium sert à la fabrication du nitre; le borate de sodium est utilisé pour la soudure, la céramique, les conserves alimentaires.

Le Sodium est une substance très répandue dans la nature; on le trouve dans la plupart des roches avec une teneur sensible (2,70 % en moyenne); il est surtout abondant dans les Feldspaths sodiques et calco-sodiques qui sont beaucoup plus nombreux qu'on le croyait autrefois, ainsi que dans plusieurs autres minéraux

Il est soluble, plus que le Potassium. Aussi y en a-t-il une plus grande quantité dans les eaux, et la teneur de l'eau de mer en chlorure de sodium est-elle considérable; car en fin de compte c'est là que vont s'accumuler tous les résidus continentaux; une faible partie en a été restituée dans les gisements de sel marin.

Le Chlorure de Sodium se trouve surtout dans la mer et dans les terrains

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

sédimentaires où il est un produit d'évaporation. On connaît également dans les bassins d'évaporation le carbonate de sodium (Natron), les nitrates de sodium, les borates de sodium, et des sulfates complexes, comme la glaubérite ($SO_4Ca + SO_4Na_2$). Le chlorure de sodium sert à la fois dans l'alimentation et dans l'industrie; il est donc nécessaire de différencier les produits destinés aux deux usages à cause des impôts considérables qui frappent le sel d'alimentation (6, 7 ... 10 fois le prix de la matière) et que ne peut supporter le sel industriel. On dénature donc celui-ci au moyen de substances difficiles à enlever et qui le rendent impropre à l'alimentation.

Sel industriel	8 à 17 fr.
" bien raffiné	32 fr
Impôt correspondant	100 fr.

Il n'y a qu'un petit nombre de pays où puisse s'organiser l'industrie des marais salants. Il faut non seulement une certaine chaleur, mais aussi des courants d'air, enlevant l'humidité. Aussi cette industrie n'est-elle pas possible dans les pays tropicaux. Les résultats les meilleurs s'obtiennent dans l'Ouest de la France, région cependant pluvieuse, à cause des vents qui y règnent, et aussi dans le Sud-Est.

Il résulte de ces conditions que le sel donne lieu à un important commerce d'exportations, avec certaines restrictions, du fait des impôts qui le frappent.

La France se suffit à elle-même et exporte en Belgique et en Hollande.

L'Angleterre a une exportation considérable, facilitée par la nécessité du fret pour les navires, à Newcastle et à Liverpool.

En Asie Centrale, d'énormes transports de sel se font par caravanes; on y échange encore le sel contre des marchandises précieuses (poudre d'Or, d'Etain, etc..)

Production mondiale de Sel (Sel Gemme et sel marin). 1909

Etats-Unis	4 millions de tonnes	
Grande-Bretagne	1,8 "	
Russie	2,2 "	
Allemagne	2 "	
France et Algérie	1,2 "	(dont 0,7 par les mines et 0.5 par les marais salants)
Inde	1,3 "	
Espagne	0.8 "	
Italie	0,5 "	
Autriche	0.4 "	
Hongrie	0.5 "	
Japon	0.4 à 0.5 "	

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En France, les principales mines de sel se trouvent dans l'Est (Doubs, Meurthe-et-Moselle); il y en a quelques-unes dans les Basses-Pyrénées. Leur production dépend de la température qui règle celle des marais salants; les conditions sont meilleures pour elles, s'il a beaucoup plu.

Géologie.

Au point de vue géologique, il y a un certain nombre de gisements qui ont des dimensions colossales. Ils se sont surtout produits après les périodes de plissements: on les trouve le long des chaînes:

calédonienne ... d'âge siluro-dévonien
hercynienne .... d'âge permo-triasique
alpine ..... d'âge tertiaire

Leur dépôt se continue encore de nos jours dans les régions désertiques.

On a longtemps expliqué la formation du sel par le dépôt dans les lagunes, séparées de la mer par des barres (voir page 48). Cette théorie est aujourd'hui un peu délaissée. Il est plus probable qu'il y a eu, dans des régions sans écoulement, des bassins de concentration où se déposaient des matières salines et où des communications avec la mer pouvaient avoir lieu à certaines époques: quelque chose d'analogue aux chotts actuels.

I - Période siluro-dévonienne

Aux environs du lac Huron, au Canada, on connaît des couches de sels ayant de 30 à 40 m quelquefois 80 m; elles sont en relation possible avec les pétroles de la région (Oil Springs).

Aux Etats-Unis une grande partie du sel est fournie par des sondages allant atteindre les dépôts salifères sur le bord de la grande plate forme primitive.

II - Période permo-triasique

On y trouve le sel dans toute une série de niveaux: dans le Permien (Zechstein), en Russie, dans l'Allemagne du Nord, à Stassfurt; dans le Trias, (grès bigarré) dans la Haute-Saône, (Muschelkalk) en Wurtemberg, (Keuper) Franche-Comté, Salz-Kammergut, Lorraine, Cheshire en Angleterre, Pyrénées.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Russie. Le bassin du Donetz a pris un grand développement depuis quelques années. Le sel y est associé à du gypse et à de l'anhydrite en dépôts sensiblement horizontaux.

On trouve les mêmes dépôts salifères dans le NE de la Russie, en allant vers Perm. Il y a là 30 à 40 m. de sel divisé en plusieurs bancs avec des alternances d'argile et d'anhydrite.

La production du sel, en Russie, (1,7 à 2 millions de tonnes) est alimenté aussi par des lagunes sur la périphérie de la Mer Noire et de la Mer Caspienne et dans les régions sibériennes (voir plus loin, page 161).

Salz Kammergut. Les niveaux salifères y sont très développés, beaucoup de noms de pays en tirent leur nom (en Hall); ex.: Hallein, Hallstadt, Halle, etc..... Les terrains y sont très plissés; ils appartiennent au Permien, au Crétacé, au Jurassique, à l'Eocène; au milieu de ces zones, généralement approximativement parallèles, on retrouve des lambeaux de Trias amenés par des accidents tectoniques.

Une coupe montrerait que ce sel se trouve dans le Muschelkalk, entre les couches de Saint-Cassian et les dolomies du Schlern. On l'y exploite au moyen de grandes chambres dans lesquelles on fait arriver de l'eau qui dissout le sel; on pompe cette eau et on l'évapore.

Doubs et Jura. Les terrains salifères y sont exploités au moyen de sondages, qui partent du Lias (Calcaire à Gryphées arquées), pénètrent dans l'Infralias et vont chercher les couches de sel vers 150 à 200 m. de profondeur. Il y a quelquefois des surprises désagréables quand on rencontre des sels magnésiens (Kiésérite) qui donnent une matière dure, enrâtant le trépan.

Lorraine. Les couches y sont régulièrement inclinées; les dépôts de sel y ont l'allure de lentilles, séparées par des lits d'argile; on en compte 7, 8 quelquefois 11 comme à Varangeville (Saint-Nicolas). L'épaisseur totale du sel, en moyenne de 63 m. atteint quelquefois 87 m, l'épaisseur de la couche principale est de 21 m.

Ce sel est associé à du gypse, qui est probablement dû à une hydratation postérieure d'anhydrite.

L'exploitation se fait tantôt par minage souterrain, tantôt par grandes chambres.

Angleterre. Il existe une grande zone de terrains triasiques qui prend en écharpe toute l'Angleterre du NW au SE, depuis Newcastle jusqu'à Plymouth, séparant

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

la région des terrains secondaires à l'Ouest, de celle des terrains primaires à l'Est. Les principales exploitations se trouvent sur le bord de la mer, dans les régions de Newcastle et de Liverpool, et en particulier à Chester.

Les gisements de sel forment un énorme bassin souterrain entre des couches d'argile qui y maintiennent de l'eau salée sous pression. Celle-ci remonte soit dans des sources naturelles, ou wiches (Norwich, etc.), soit grâce à des forages artificiels. Le sel étant ainsi éliminé de la profondeur, il se produit des tassements. On admet que la couche de sel a 32 km. x 24 km. de surface et 45 m. d'épaisseur; cela donnerait 34 milliards de mètres cubes et 80 milliards de tonnes. Une partie seulement de cet énorme cubage est d'ailleurs disponible; le reste se trouve au-dessous du niveau de la mer ou bien a été déjà enlevé par dissolution. Les ressources disponibles sont cependant énormes.

Pyrénées. Il s'y trouve une série de pointements gypso-salins apparaissant d'une façon bizarre; on les a cru autrefois d'origine éruptive. Il n'en est rien. Toutes les fois qu'un gisement de sel a glissé, il s'est produit un phénomène analogue à celui du moulage de la glace; le sel a été partiellement dissous et a recristallisé, s'adaptant ainsi aux formes nécessaires. De là vient l'allure bizarre des gisements où s'intercalent d'ailleurs les argiles, grâce à leur souplesse.

Sud-Est de l'Asie. Dans le Se-Tchouan, le Yunnan, le Cambodge, le Laos, des plis d'âge carbonifère font affleurer tous les terrains jusqu'au Dinantien; au-dessus se trouvent en transgression des terrains d'âge variable (terrains rouges et salifères) ayant les mêmes caractères et le même aspect qu'en Europe.

III – Gisements tertiaires

Les chaînes tertiaires sont jalonnées par une série de gisements salins. On en connaît en Espagne, à Cardona près Barcelone (âge douteux), à Saragosse, tout le long de la chaîne alpine, en Alsace, dans les Apennins, en Toscane, en Sicile. Mais les plus importants se trouvent le long de la région karpathique. Ce sont des amas où les phénomènes de plissements sont très nets; ceux-ci sont peut-être accidentels, mais il est plus probable qu'ils sont dûs à l'affaissement progressif des synclinaux pendant le dépôt du sel. Ces gisements appartiennent surtout à la phase du Schlier (Burdigalien-Helvétien), pendant laquelle s'est produite une régression déterminant le dépôt d'argiles très fines, micacées, avec intercalations de sels et probablement d'hydrocarbures. Après

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

cette période, le retrait s'est encore accentué et on trouve, par exemple, en Autriche, des dépôts avec plantes terrestres.

Ces gisements sont très développés en Galicie où se trouve la mine de Wieliczka, surtout connue des touristes.

En profondeur, l'allure du gîte est assez régulière, mais en surface on ne trouve plus que des blocs de gypse épars dans les argiles; ils résultent de la dislocation de couches analogues aux couches inférieures par des accidents tectoniques.

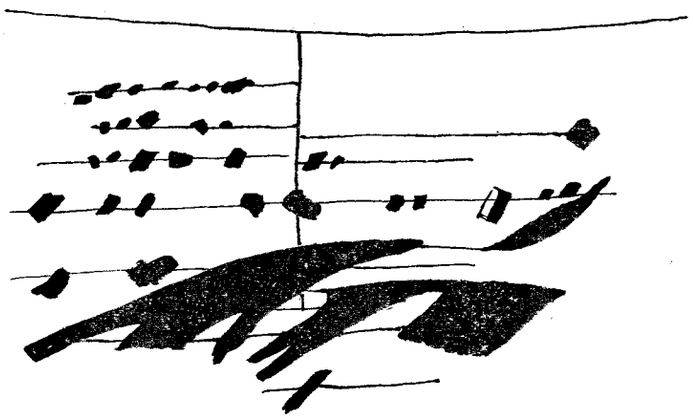


Fig. 43.

Coupe verticale théorique du gîte de Wieliczka.

On y distingue le *Szybikersalz*, sel cristallin à gros éléments grisâtres, le *Spizasalz*, sel à grain très fin, le *Grünsalz*, sel avec nombreuses inclusions, formant la plupart des blocs de la partie supérieure.

Malgré leur dislocation, ces blocs présentent une apparence stratifiée. On y voit des bancs de sel plus ou moins continus, reliés par des cassures également remplies de sel (fig. 44), s'y étant introduit et y ayant cristallisé postérieurement.

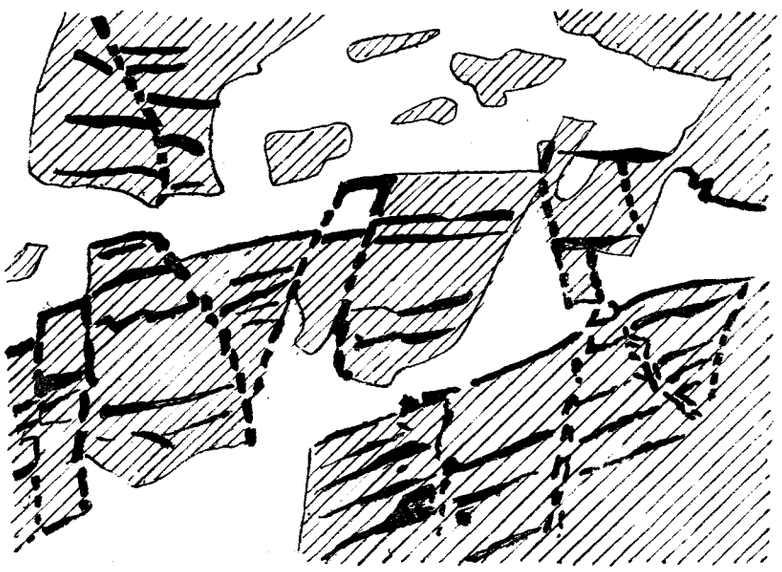


Fig. 44.

Coupe théorique d'une paroi à Wieliczka, montrant l'apparence stratifiée dans les blocs isolés du sel

Ce gîte est bien étudié; on connaît son âge avec précision (Calcaire de la Leitha).

Transylvanie. Il y a là une grande zone salifère qui longe à l'Est une sorte d'éperon (Marmaros, Maros-Ujvar), auprès duquel on a trouvé également des hydrocarbures. On y voit très nettement que la barre de sel s'y élargit

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

en profondeur et que les couches du toit s'infléchissent à son approche (fig. 45). On est donc nettement en présence d'un anticlinal rompu.

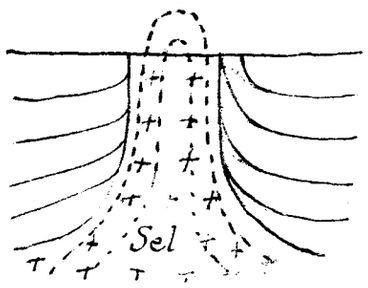


Fig. 45.

Schéma d'une barre de sel anticlinal à Slanic.

Ces gisements sont intéressants au point de vue du mode d'exploitation; on y pratique de grandes chambres que l'on augmente progressivement. Ces chambres sont éclairées à l'électricité et fournissent, avec le scintillement des cristaux de sel, un très beau spectacle.

Asie Mineure. On connaît des dépôts de sel en Asie Mineure, le long du fleuve Halys, dans le sud de la Perse, dans le Turkestan, dans l'Inde.

Ces derniers situés dans le Salt Range, au N.W. du Pundjab, ont été très discutés au point de vue de leur âge; la stratigraphie y est effectivement difficile; il y a là deux zones salifères, l'une tertiaire, l'autre que l'on croyait silurienne (salt marls); en réalité des phénomènes de charriage ont amené celle ci dans des positions stratigraphiques anormales.

Les affleurements sont énormes (gorges de Bhadur Khel); on y trouve des roches de sel qui paraissent peu solubles à l'air.

Golfe du Mexique. Dans les régions plissées où se trouvent les pétroles du Texas, on rencontre des régions salifères, peu importantes au point de vue industriel, mais ayant un certain intérêt à cause de la connexité du sel, du soufre de Louisiane et des pétroles du Texas.

IV. Période actuelle.

Régions désertiques. — Des phénomènes analogues à ceux qui ont amené la production du sel aux époques géologiques, se produisent encore de nos jours dans les régions désertiques. Ils peuvent se diviser en trois :[1]

1°) Evaporation récente d'une mer isolée du reste des Océans;

2°) Dissolution des terrains géologiques salifères et concentration dans un

---

[1] Il faut noter aussi que les nuages et les brouillards peuvent transporter une quantité assez notable de sel; mais cette cause paraît jouer un rôle très faible dans la formation des roches salifères.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

bassin sans écoulement.

3°) Concentration des eaux dites douces dans un bassin fermé sans écoulement.

1°) Évaporation d'une mer récente. – On connait des régions salifères de cette nature dans toute la Sibérie aussi bien au Nord du chemin de fer transsibérien qu'au Sud où elles se développent beaucoup ; la salure y croît du Nord vers le Sud.

La zone aralo-caspienne formait à l'époque pontienne une grande mer qui reliait la Caspienne, la mer Noire et le lac d'Aral actuel. Des phénomènes de concentration des eaux s'y sont produits avec des alternatives diverses.

Il y a eu une phase où le lac d'Aral se trouvait à un niveau plus haut qu'actuellement, une autre où il se trouvait à un niveau plus bas. Il y a donc eu une série d'oscillations dues à des modifications dans le climat. Ce phénomène est peut-être aussi en relation avec l'existence de compartiments du sol, susceptibles de s'affaisser au-dessous du niveau de la mer, comme le sont actuellement le bassin aralo-caspien et la région de l'Asie-Centrale.

Ces deux phénomènes ont activé la concentration des matières salines qui s'est produite, en particulier dans l'Asie Centrale, dans le Thibet, dans le désert de Sistan (Perse), dans le Turkestan russe.

2°) Dissolution des terrains géologiques salifères. – Les phénomènes d'évaporation d'eaux ayant pris leur sel à des terrains géologiques plus anciens (gisements triasiques du voisinage) s'observent dans les Chotts d'Algérie. L'origine triasique du sel peut se déduire de ce fait que certains Chotts sont constitués par de l'eau douce.

3°) Concentration d'eau douce dans un bassin fermé. – Elle s'est produite dans le Grand bassin salé de l'Ouest Américain. Là, en effet, il n'y a ni traces d'anciennes mers, ni traces d'anciens terrains salifères. Le niveau du lac était autrefois à 300 m plus haut qu'aujourd'hui ; par suite de l'évaporation progressive des eaux, on est arrivé à avoir une teneur en sel assez forte.

Marais salants

Ainsi qu'il a été dit (page 155) cette industrie ne peut se développer que dans les pays de climat sec et de grands vents.

La production par hectare et par an est :

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Portugal ..... 250 T

Sardaigne ..... 120 T

Camargue ..... 100 T (à cause du courant d'air de la vallée du Rhône)

Ouest de la France ... 25 à 30 T.

En Algérie, au Sénégal, en Crimée, cette industrie est à peu près impossible.

Sulfate de Sodium.

On trouve dans divers terrains géologiques quelques gisements de glaubérite ($SO_4Ca + SO_4Na_2$), en particulier en Espagne (Cien Pozuélos, les Cent Puits, sur le plateau de Madrid).

Le Miocène est là à l'état d'argiles versicolores où s'intercalent quelques bancs de glaubérite (10 à 12 m.), puis à l'état de calcaire d'eau douce. On extrait en carrière et on soumet à un lavage; le sulfate de sodium, plus soluble, se sépare du sulfate de calcium; on l'extrait ensuite par évaporation.

Carbonate de Sodium.

Le Natron ou Trona ($CO_3Na_2, HnCO_3N_2H$) est un produit superficiel sur terrain calcaire dans certaines régions salifères.

On trouve ainsi dans l'ouest de l'Égypte, vers la Cyrénaïque (El Natroun), une série de petits lacs sans écoulement, avec une croûte de carbonate de sodium.

En Californie, des cuvettes lacustres contiennent des étendues considérables de carbonate de sodium; sur le bord on rencontre du chlorure de sodium.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Lithium

Usages. — Il a des usages en médecine, contre la goutte, en verrerie pour certaines couleurs vitrifiables. Il a valu longtemps 40 à 50 fr. le kilogramme ; il vaut actuellement 15 francs.

Minerais. — On le trouve dans le groupe des granulites à mica blanc, dans un assez grand nombre de minéraux où le Lithium remplace le Sodium et le Potassium, par exemple dans le mica lépidolite (4 à 6 % de Lithium), dans certains silicates alumineux, comme le triphane, le castor, (2½ à 3 %) ; l'amblygonite, $2Al_2P_2O_8 + 3(LiNa)Fl$ qui constitue le minerai le plus important de Lithium (8 à 10 %), exploité par exemple à Montebras.

Gisement de Montebras. — L'amblygonite s'y trouve dans les conditions ordinaires des minerais stannifères et y est associée à eux. Un certain nombre de filons sont encaissés dans des granulites et des pegmatites où l'Amblygonite accompagne la cassitérite, le quartz et le mica, et où elle forme la plus grande partie de la masse. On a récemment repris pour l'y exploiter les anciennes haldes d'Etain où elle avait été négligée.

Autres gisements. — On connaît quelques autres gisements de Lithium, par exemple dans le Dakota et à Arendal, en Norvège.

Des lépidolites se trouvent parfois dans des granulites ou sur des haldes de gisements stannifères, à Saint. Sylvestre (Haute-Vienne), en Moravie, dans le Nord du Portugal. Ils sont caractérisés par leur couleur violette, qui se retrouve dans l'Amblygonite.

On exploite du triphane aux Etats-Unis (Keystone, dans le Dakota).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Calcium.

Le calcium intervient dans la composition d'un grand nombre de produits utiles : la *chaux caustique* CaO employée pour la fabrication du mortier, la préparation des peaux, la défécation des jus sucrés ; le *chlorure de calcium* $CaCl_2$ utilisé comme déshydratant ; l'*hypochlorite de calcium* employé pour le blanchiement et la fabrication des toiles peintes ; le *fluorure de calcium* CaF_2 étudié à propos du fluor (page 58) ; le *carbonate* CO_3Ca formant l'élément principal des pierres de construction, des marbres, de la craie, de la pierre à chaux, des blancs d'Espagne, de la pierre lithographique, etc... ; le *sulfate*, SO_4Ca constituant le plâtre et l'albâtre ; les *phosphates* étudiés à propos du phosphore (page 98).

Les minerais utiles qu'il nous reste à examiner sont surtout le carbonate et le sulfate.

Le calcium intervient dans la constitution des roches suivant une proportion moyenne de 3,5 %, soit 4,8 % de chaux. La plus forte proportion est donnée par les *silicates*. Les roches calciques, soumises à l'altération, donnent des combinaisons avec l'acide carbonique de l'air et le soufre des pyrites : il se forme des carbonates et des sulfates qui sont reprécipités sous des influences diverses, notamment sous celle des organismes.

Calcaires.

Parmi les carbonates figurent tous les *Terrains calcaires*.

La pierre de construction est fournie dans le bassin de Paris par le Jurassique, le Crétacé et le Tertiaire. Les produits jurassiques donnent les qualités les plus recherchées, les produits crétacés sont peu employés, tout au moins à Paris. Les calcaires tertiaires sont très utilisés. Les qualités des calcaires tiennent à leur composition chimique d'une part, à leur structure d'autre part.

Les calcaires contiennent toujours une certaine proportion de silice, d'oxyde de fer, de carbonate de magnésium et d'argile.

La proportion d'argile devient manifeste lorsque le calcaire est soumis à l'altération. Elle influe notamment sur la résistance à l'écrasement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Le poids varie de 1400 à 2800 kilogs par mètre cube et la résistance à l'écrasement est à peu près proportionnelle à la densité. La pierre pesant de 2100 à 2800 kgs porte environ 1200 kilogs par centimètre carré, alors que la pierre tendre, dont le poids varie de 1400 à 2100 kgs ne résiste qu'à 200. 220 kgs par centimètre carré.

Une bonne pierre est résistante, dense et facile à travailler. Elle doit pouvoir donner des blocs d'une certaine dimension. On distingue quelquefois les pierres sciables à la scie à dents et les pierres non sciables.

La gélivité est un sérieux défaut de la pierre; elle dépend de sa porosité; on la détermine en trempant la pierre dans une solution saturée et bouillante de sulfate de soude. L'effet lent de la gelée est ainsi remplacé par l'effet rapide de la cristallisation du sulfate.

On distingue aussi les pierres de libage et les pierres nettes.

Au point de vue géologique les principaux calcaires français se classent ainsi:

Toarcien - Calcaire de Thouars, pierre à ciment de Vassy.

Bajocien - Calcaires de l'Ardenne (Chémery, Dom-le-Mesnil), Nièvre (Le Guetin), Vienne (Chauvigny).

Bathonien - Pierre de Caen, calcaire fin, régulier, propre à la sculpture, ayant une grande réputation et ayant servi à construire de nombreux édifices gothiques, comme la cathédrale de Canterbury (Angleterre) et la cathédrale de Cologne (Allemagne) - Pierre de Dôle.

Callovien - Calcaire de Pouques (Nièvre)

Oxfordien - Pierre d'Euville (Meuse), employée pour la construction des Tuileries à Paris. - Pierre de Lérouville de qualité inférieure.

Séquanien - Région de Dôle avec carrières en bordure du canal du Rhône au Rhin; elle a été employée à Paris, pour la construction de la Trinité, du Pont St. Michel, etc... Région de Tonnerre: Pierre compacte, homogène, en dalles minces.

Portlandien - Bas-Boulonnais.

Crétacé - Il s'agit généralement de craie plus ou moins tendre s'écrasant facilement et n'ayant que des usages locaux: Turonien de Touraine (Craie Tuffeau ayant servi à construire les châteaux de la Loire).

Dans le sud-ouest de la France on trouve dans le Crétacé des pierres beaucoup plus dures: Calcaire de Chancelade. Dans l'Emschérien: Pierre de Sens, de Champagne et de Picardie.

Tertiaire - Calcaire grossier de la région parisienne: pierre à liards ou à Nummulites;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Calcaires à verrains ou à Cérithes géants. Calcaires de St. Ouen pour l'empierrement. Meulières de La Ferté-sous-Jouarre. Calcaire de Château-Landon (employé pour l'Arc-de-triomphe)

Pierres à chaux et à ciments.

La pierre à chaux doit contenir une certaine proportion d'argile.

Selon les cas, on a les produits suivants :

Moins de 5%... Chaux grasse.

De 5 à 12 %... Chaux maigre, sans liant.

De 12 à 20 %... Chaux hydraulique, susceptible de durcir sous l'eau.

De 20 à 25 %... Produits variables qui tombent en poussière; mais en les cuisant à une température assez élevée, on a les chaux limites ou ciments de Portland.

De 25 à 30 %... Ciments romains.

40 % .... Pouzzolanes artificielles.

Le ciment artificiel à prise lente peut se faire avec la plupart des calcaires, tenant moins de 4% de dolomie.

A Boulogne le calcaire employé pour la fabrication des ciments tient 12 à 25% d'argile. On y ajoute un peu de chaux. A la Grande Chartreuse, on emploie un calcaire bitumineux riche en argile.

L'exploitation de la fabrication industrielle des ciments est très délicate.

Le ciment à prise rapide est fabriqué à Vassy dans l'Yonne, et à Grenoble (Porte de France).

Le calcaire de Vassy tient..... 3% SO^4Ca

Le calcaire de la Porte de France (Grenoble) tient.. 4% SO^4Ca.

Blanc d'Espagne. Craie.

On emploie à cet effet les calcaires crayeux, fins, de l'Emschérien et de l'Aturien. La craie traçante est exploitée à Meudon (Seine), Bougival, Mantes (Seine-et-Oise), Châlons (Marne), et à Canteleu, près de Rouen (Seine-Inférieure); on l'emploie pour la fabrication du blanc de Meudon, du blanc d'Espagne: dans ce but la craie est pulvérisée, soumise à une lévigation et agglomérée.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Pierres lithographiques.

Les pierres lithographiques sont employées pour les dessins à reporter sur papier. Cette industrie a subi une crise dûe aux développements des procédés de zincographie, de photogravure, etc... La lithographie n'a plus guère d'importance que pour certains travaux d'art, notamment pour le tirage des affiches illustrées, qui exigent d'ailleurs des pierres de grandes dimensions.

Malgré l'abondance des calcaires lithographiques ou plutôt sublithographiques, les qualités exigées sont rarement réalisées. Aussi la plupart des exploitations sont-elles tombées et Solenhofen a-t-il maintenant un véritable monopole. On en connaît cependant un peu dans le Gard et à Diano-Marina (Italie). Il faut en effet la réunion des qualités suivantes:

1°) la pierre doit être compacte avec un commencement de cristallinité. Il ne faut pas trop de cristallinité; car l'encre ne prendrait pas;

2°) elle doit être absolument homogène avec 5 à 6 % de silice et d'argile, et une teneur sensiblement égale en silice et en argile. S'il y a trop de silice, la pierre est dure et fragile; s'il y a trop d'argile elle est trop tendre;

3°) elle ne doit pas contenir de fissures cachées. On se rend compte de la réalisation de cette condition en soufflant sur la pierre. La buée laissée par l'haleine se rétrécit en ellipse s'il existe une fissure. En particulier la pierre ne doit pas contenir de fissure de retrait avec des cristallisations de calcite qui ne prendraient pas l'encre.

Les calcaires lithographiques ont été métamorphisés et plissés. Aussi les conditions sont-elles difficiles à réaliser surtout en plaques de grandes dimensions.

Gisement de Solenhofen. — Les conditions sont exceptionnellement favorables. On a des bancs de calcaire portlandien remplissant des dépressions au sommet des dolomies kimméridgiennes.

L'épaisseur totale du calcaire portlandien peut atteindre 25 à 30 mètres en bancs peu épais, de 16 à 18 cm., à grains très réguliers, contenant des fossiles dans un admirable état de conservation.

Cet étage forme un plateau coupé de vallées, ce qui permet un grand développement du front de taille avec des couches se présentant bien pour l'exploitation.

On met les bancs à nu, on trace dessus les plans de sciage suivant lesquels on débite et on procède au polissage.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Lorsque les calcaires ont subi une cristallisation plus complète, on arrive aux marbres.

Marbres

Quand la cristallisation du calcaire est plus complète, on a affaire à des marbres, c'est-à-dire des roches susceptibles d'être polies.

Leur valeur est variable suivant leur couleur, leur transparence, leur mode de polissage.

Les marbres blancs sont ceux qui ont la valeur la plus grande; elle varie d'ailleurs suivant la façon dont ils se patinent avec le temps.

Les marbres blancs statuaires provenaient autrefois de Paros, du Mont Pentélique etc... ils prenaient à la longue une patine superbe. Les marbres statuaires modernes proviennent surtout de Carrare; ils ont généralement une couleur bleuâtre moins artistique.

Les marbriers classent les marbres de la manière suivante :

1°) *Marbres simples*.

Blancs : Paros, Pentélique, Carrare et Vermont (Amérique). Il faut y ajouter les albâtres calcaires dont la valeur est très inférieure.

Noirs : Noir antique (parsemé de petites taches blanches) Petit granite, Ste Anne, (Belgique). Portor, fond noir à fissures jaunes.

Rouges : antique (Grèce); Griotte (Pyrénées), à fond brun ou rouge; sarancolin, à fond jaune avec taches rouges; Marbre incarnat (à polypiers), grandes taches rouges.

Colorés : bleu turquoise; jaune antique; jaune de Sienne.

2°) *Marbres brèches*, formés de fragments soudés donnant un effet ornemental : jaune fleuri; rose fleuri; Brocatelle d'Espagne.

3°) *Marbres composés* (à veines nombreuses), classe qui comprend aussi des matières non calcaires comme les serpentines, les tales et même les porphyres, etc...

4°) *Lumachelles*, formées de coquillages, susceptibles d'un poli médiocre.

Distribution géographique des marbres.

En France. Au point de vue de l'industrie extractive, la France est un pays riche.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

1°) *Groupe du Nord*: marbres primaires des Ardennes, de la Meuse, du Nord, du Pas-de-Calais, du Boulonnais, fournissent des variétés foncées, noires, grises, rouges (marbre Napoléon, marbre Lunelles).

2°) *Groupe des Pyrénées*, le plus important: St Béat Campan, Griottes.

3°) *Groupe de l'Ouest*: Sarthe, etc...

4°) *Groupe du Centre*: Morvan, Massif Central, etc...

En Algérie. Il s'y trouvait de nombreuses exploitations romaines, reprises récemment: marbre statuaire de Filfila, — onyx en bancs très irréguliers, ayant donné lieu malgré la valeur des produits à des mécomptes industriels.

En Italie. Les principaux centres sont les énormes carrières de Carrare et Serravezza.

En Grèce: on a repris les carrières antiques de Paros, du Pentélique, de Naxos, de Syra.

En Norvège, dans l'Inde (aux environs de Delhi), au Canada, dans les Etats-Unis (Carrières de Vermont), se trouvent aussi des marbres renommés.

Au Mexique, existent des carrières d'onyx.

Synthèse. — Le marbre aurait été obtenu synthétiquement dans la célèbre expérience de Hall, difficile à reproduire, et encore douteuse aujourd'hui.

Formation. — Les marbres sont des calcaires métamorphisés, ayant subi souvent des actions dynamiques, qui ont provoqué la formation des cassures. Ces cassures se sont remplies de carbonate de chaux cristallisé par une action de transport secondaire par l'eau, ayant produit finalement des veines blanches sur fond coloré.

Certains marbres - givétiens, frasniens, par exemple - sont très riches en débris organiques: polypiers, etc...

Age des marbres. — On trouve des marbres dans les assises les plus variées: ils sont cependant plus abondants dans les terrains anciens, ayant subi un métamorphisme.

Silurien: Bagnères de Luchon (Pyrénées).

Dévonien: à Givet (marbre Ste Anne, marbre Charlemagne, rouge des Flandres) dans le Frasnien du Boulonnais, dans la Mayenne, dans la rade de Brest, dans le Morvan (à Dion), dans le Languedoc (Cabrières), dans les Pyrénées (griottes de Campan).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Carbonifère : Les marbres y sont généralement gris ou roses. On peut citer le marbre Napoléon et le Haut-Banc, dans le Boulonnais.

Trias : Marbre de Carrare.

Jurassique : Marbres du Valais.

Crétacé : Marbre de Paros et du Pentélique, en Grèce.

Tertiaire : Ce sont plutôt des marbres grossiers.

Pleistocène : Ils se produisent sous la forme de travertins, ayant l'aspect d'onyx, comme au Mexique ou dans le département d'Oran, où la valeur du mètre cube sur carrière atteint souvent 1000 francs. Les gisements très restreints s'épuisent vite.

Exploitations de Carrare. — Les carrières de Carrare occupent 9000 ouvriers, occupés tant à l'abatage, qu'au transport, au demi-finissage et à l'expédition. On compte un grand nombre de sculpteurs.

Le gisement est constitué par des bancs de calcaire marmoréens reposant sur des schistes paléozoïques talqueux et micacés, et recouverts par des schistes triasiques.

Le marbre blanc statuaire y est en masses ovoïdes, lenticulaires, irrégulières au milieu de marbres plus impurs dont il est séparé par la *madre macchia*, formée de matières talqueuses et ferrugineuses.

L'exploitation consiste à éventrer la montagne à coups de mine gigantesques et à recueillir et débiter au bas les gros blocs qui roulent le long des pentes.

Sulfate de Chaux

Le sulfate de chaux se trouve dans la nature sous deux formes : le sulfate anhydre ou *Anhydrite* et le sulfate hydraté ou *Gypse* ($SO_4Ca + 2H_2O$).

Usages et Statistiques

Le *Plâtre* est une poudre blanche, obtenue par la calcination incomplète du gypse : il contient semble-t-il, du sulfate demi-hydraté, et de l'anhydrite. Il doit être cuit au-dessous de 200°. Au-delà de cette température il est trop cuit et il reprend difficilement son eau de cristallisation. Un bon plâtre reprend jusqu'à 100% de son volume d'eau ; il doit

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

le reprendre lentement.

Pratiquement, on utilise le sulfate de chaux, sous forme de plâtre, pour le moulage et la construction. Il est dur quand il est hydraté, pulvérulent et farineux quand on lui a retiré son eau pour la calcination; il existe quelques autres débouchés, moins importants, pour la fabrication des papiers peints et dans l'agriculture, où il semble avoir pour effet de faire passer les alcalis de la couche superficielle dans la couche profonde du sol. Il sert surtout pour la culture des légumineuses.

Le plâtre le plus estimé provient du bassin de Paris: il provient des carrières d'Argenteuil, Sannois, Romainville, Thorigny, etc...

La production mondiale du plâtre est de 4 à 5 millions de tonnes; la France et les Etats-Unis d'Amérique en produisent environ les trois quarts.

La production des Etats-Unis est entièrement consommée dans le pays même: mais le plâtre indigène, provenant surtout des Etats de Michigan et de New-York, ne peut servir qu'à des usages grossiers.

La production française diminue par suite de l'épuisement du bassin.

En 1900 ..... 2.400.000 tonnes

En 1910 ..... 1.100.000 "

La production des autres pays est la suivante :

Canada ..... 450.000 tonnes

Italie ..... 250.000 "

Angleterre ..... 200.000 "

Allemagne ..... 80.000 "

Géologie des gisements

L'Anhydrite s'est formée comme le gypse par évaporation lagunaire des eaux de la mer. On croyait autrefois à une action prépondérante de la pression; l'anhydrite se serait formée sous une profondeur d'eau de plus de 100m, le gypse sous une profondeur moindre. Il s'agit en réalité de facteurs tout différents. Les expériences de Van t'Hoff ont démontré le rôle considérable des sels associés et de la température dans la nature des dépôts d'évaporation d'une solution saline complexe. Ainsi quand l'eau est chargée de chlorure de sodium, il se produit de l'anhydrite dès que la température est supérieure à 25°. Si l'eau était pure, il faudrait, pour que ces conditions se réalisent, une température supérieure à 90°.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

L'anhydrite a pu postérieurement s'hydrater et donner lieu à des dépôts de gypse. Ce phénomène s'accompagne d'un gonflement considérable et rend très difficile le percement de tunnels à travers les bancs d'anhydrite : c'est le cas de plusieurs tunnels alpins. Réciproquement le gypse peut se transformer en anhydrite vers 125° ; mais le cas paraît avoir été réalisé très rarement.

L'origine du gypse et de l'anhydrite est donc, pour la plus grande majorité des cas, comme celle du chlorure de sodium, purement lagunaire.

On trouve cependant quelques concentrations de gypse et d'anhydrite dans les calcaires, par réaction de l'acide sulfurique, formé aux dépens des pyrites du terrain, réagissant sur le calcaire. Ce cas ne se réalise guère que dans le voisinage des filons métallifères.

Le gypse est facilement remis en mouvement postérieurement au dépôt : c'est ainsi qu'on retrouve dans les strates du Houiller de Decize (Nièvre) des intercalations de gypse, provenant des terrains triasiques gypsifères qui se trouvent au-dessus de lui.

Terrains gypsifères. — Le gypse se trouve :

1°) dans le *Silurien - Dévonien*, sur le bord de la chaîne calédonienne ;

2°) dans le *Permo-Trias*, sur le bord de la chaîne hercynienne ;

3°) dans le *Tertiaire*, sur le bord de la chaîne alpine.

Le *Permo-Trias* donne de grandes assises gypseuses à Decize (Nièvre), dans la Franche-Comté, en Lorraine, dans les Alpes et les Pyrénées. En Angleterre, cette assise fournit un plâtre, rigoureusement dépourvu de carbonate de calcium, ce qui présente un grand intérêt dans certaines fabrications chimiques.

Dans le Tertiaire du Bassin de Paris, les assises gypsifères atteignent leur maximum de développement (50 m.). Elles sont divisées en quatre "masses", la plus importante, la plus constante et la plus épaisse (20 m) se trouvant à la partie supérieure : elle forme la "masse des hauts piliers", constituée de gypse saccharoïde remarquable par sa division prismatique.

En Italie, les formations sulfogypseuses présentent du gypse saccharoïde, étudié à propos du soufre (p. 67).

L'albâtre gypseuse se rencontre en boules à Volterra (Italie) : facile à tailler au couteau, elle sert à l'ornementation. L'albâtre gypseuse de Thorigny-les-Vallières (Seine-et-Marne) sert à la fabrication d'un plâtre alunié, cuit à haute température.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Baryum.

Usages.

Le Baryum a un certain nombre d'emplois. La *Baryte* caustique est utilisée dans l'industrie. Le *Bioxyde de Baryum* sert à fabriquer l'eau oxygénée. Le *Sulfate de Baryum*, qui est le minerai courant, est blanc et très lourd, très utile pour falsifier diverses substances blanches ; il sert aussi à la fabrication des cartons glacés, du papier de tenture, des peintures à la détrempe (blanc-fixe, obtenu en le mélangeant à CO_3Zn.) Il est utilisé dans les manufactures de poteries et dans les verreries. Le *Sulfure de Baryum* sert dans l'industrie des matières colorantes.

La Baryte étant exploitée dans de petites carrières, il est difficile d'établir sa statistique. On le rencontre surtout sur les filons de Plomb.

Géologie des Gisements de Baryum.

Le sulfate de Baryum (Barytine) est le minerai courant ; le carbonate de Baryum (Withérite) est plus rare.

Il se produit en affleurement une concentration remarquable du Baryum, due à une remise en mouvement superficielle. Quand une roche contient à la fois du calcium, du magnésium et du Baryum, les phénomènes d'altération ont pour effet d'éliminer la chaux et de séparer le Baryum. La plupart des filons barytiques présentent donc une zône haute, riche, au-dessous de laquelle la baryte disparait. Des phénomènes annexes amènent souvent le manganèse à se concentrer en même temps que le Baryum.

La Barytine, considérée en chimie comme insoluble, est en réalité un peu soluble dans des solutions étendues de sels annexes : on connait des dépôts sur des fossiles dans des sources thermales (Lamalou, Hérault).

On connait cependant quelques filons où le Baryum subsiste jusqu'à une grande profondeur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les filons de Barytine peuvent montrer des associations avec diverses autres substances

1° *Filons avec association de fluorine et de quartz sans métaux sulfurés.* C'est le cas extrême des cas suivants, en particulier du cas des filons de barytine et de plomb. Cependant ces filons sont assez distincts.

On les trouve en abondance dans le Massif Central, en Bohême, dans la Meseta espagnole. Ils forment généralement des veinules sans continuité ayant l'aspect de craquelures du terrain. Certains de ces filons ont cependant un développement plus considérable; tel est celui de Brioude (Haute-Loire) où on exploite de la Barytine et de la Fluorine. On trouve d'ailleurs de la barytine dans la plupart des filons quartzeux du Massif Central, en particulier sur celui qui se montre aurifère au Châtelet (Creuse) et dans les failles-limites de la Limagne. La barytine y est souvent d'origine récente, comme celle qui consolide les fissures par où viennent les eaux thermales à Bourbon-l'Archambault (Baryum et Strontium), à Evaux (Creuse), à Néris.

2° *Filons plombifères* — Le premier type passe progressivement à de véritables filons de Barytine et de Galène. Comme il a été dit, dans un très grand nombre d'entre eux, la Barytine disparait en profondeur et fait place au Quartz. (Ex: Sarrabus, Sardaigne). On connait cependant des filons où le Baryum subsiste à de grandes profondeurs, comme en Saxe, à Freiberg, à Annaberg, à Clausthal et en Asie, dans l'Altaï. (La galène et la barytine y persistent jusqu'à 5-600 m.) Ces filons présentent des rubanements caractéristiques, avec d'innombrables alternances de pyrite, de galène et de blende.

3° *Filons cobaltifères* — Le Cobalt étant aussi un métal qui se développe au voisinage de la surface, le Baryum apparaît et disparaît en même temps que le Cobalt.

4° *Filons cuprifères* — Il en est de même pour le cuivre; les filons de Baryum et de Cuivre (Cuivre gris, carbonate de cuivre avec sidérose) s'appauvrissent en Baryum en profondeur. Un type peut être pris à Huanchaca, en Bolivie, grande mine de cuivre argentifère où le Baryum a disparu en profondeur et a été remplacé par du Quartz.

5° *Filons antimonifères* — Les filons de Barytine et d'Antimoine se trouvent dans un groupe déterminé de gisements d'Antimoine, dans ceux qui sont en rapport avec les formations tertiaires; par exemple en Hongrie, à Felsobanya où des tables de barytine enveloppent des aiguilles d'Antimoine.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En résumé, la Barytine constitue une des gangues normales des filons métallifères, mais on ne la trouve pas avec le groupe de l'Etain et métaux connexes, qui sont généralement associés avec le Quartz. Elle est plus abondante dans les gîtes de minéraux qui sont arrivés sous la forme chlorurée ou sulfurée.

Si la venue profonde du Baryum peut paraître probable, quand il persiste en profondeur, son origine superficielle (décomposition de certains felspaths) est très nette dans un grand nombre de gisements.

Carbonate de Baryum ou Withérite.

Il est beaucoup plus rare que son homologue la Strontianite (CO_3Sr) et cristallise comme elle en rhomboèdres. On le trouve surtout quand les filons de barytine traversent des terrains calcaires; ainsi on connait au Northumberland (Angleterre) un filon de galène avec withérite, exploité pour la céramique.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Strontium

Ce métal a beaucoup d'analogies avec le Baryum. Il sert surtout pour l'extraction du sucre des mélasses, pour laquelle on utilise indifféremment CO_3Ca, CO_3Ba, CO_3Sr. — Le carbonate de calcium, moins cher, est généralement utilisé; cependant le carbonate de Strontium présente quelques avantages.

On utilise aussi le Strontium à cause de la *couleur rouge* qu'il donne aux flammes (feux de Bengale, feux d'artifice.) Il a aussi quelques applications en médecine.

Gisements

Le Strontium se trouve surtout à l'état de strontianite (CO_3Sr) et de célestine (SO_4Sr). En dehors de ces minéraux, il est disséminé dans certains autres : micas, pyroxènes, feldspaths; il existe ainsi des feldspaths strontio-calciques, comme des feldspaths baryto-calciques. Mais sa dissémination est plus faible que celle du Baryum; dans les roches d'une même région, la proportion entre le Baryum, le Calcium, le Strontium reste à peu près constante.

Le Strontium s'est isolé et a formé des *dépôts d'évaporation marine*. A la dernière phase d'évaporation, il se dépose du Strontium; aussi en trouve-t-on des traces accompagnant le gypse, dans certains calcaires d'évaporation et dans certains terrains marneux.

On connaît aussi des filons de strontianite en Écosse dans des filons de Plomb.

Gisement de Ablen (Westphalie). — En 1875, on y a découvert un véritable gisement de strontianite : dans des terrains marneux appartenant au Sénonien, apparaissent de nombreuses fractures, ayant une très grande longueur et l'aspect de fissures de retrait. Le remplissage est constitué par du Strontium et du Calcium; on a calculé que tous ces filons mis bout à bout auraient 44 kil. de longueur. Ils doivent s'épuiser en profondeur; car ils ont réduit leur production.

Bassin de Paris. — La Célestine se trouve en inclusions et en rognons

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

dans le gypse du Bassin de Paris et dans les marnes supra-gypseuses ; elle y a donné lieu à une petite exploitation.

On en trouve également des traces dans le Sénonien, le Tertiaire (argile plastique de Meudon). Sa présence paraît être une particularité du Bassin de Paris ; cela tient à ce qu'elle n'a pas été recherchée ailleurs.

Sicile. — La célestine est associée avec des gisements de gypse et est disséminée dans les calcaires qui les accompagnent (2 à 3% de Sr) ; le Strontium a cristallisé dans les mêmes fissures que le Soufre (voir p. 67.)

Gisements divers. — Dans la Drôme, à Condorcet, un anticlinal fait apparaître de l'Oxfadien au milieu de l'Eocène ; cet anticlinal est jalonné par une fracture le long de laquelle il y a de la Blende, de la Célestine et du Baryum, avec du gypse, probablement produit par réaction chimique. La célestine se trouve en boules dans les marnes oxfordiennes ; la surface de celles-ci est étoilée par des veinules de célestine.

A *Bourbon l'Archambault* il existe également une association analogue de célestine, fluorine et galène.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Magnésium

Usages et Statistiques

Usages. — Ce métal a un certain nombre d'emplois.

Le *Magnésium métallique*, en poudres, fils, rubans, produit une lumière intense riche en radiations chimiques. On l'allie quelquefois à de l'Aluminium (*Magnalium*). — Le *chlorure de magnésium* sert à préparer le Magnésium métallique et à apprêter les étoffes de coton. — La *magnésie* (MgO) est utilisée pour faire des ciments magnésiens (on mélange de la magnésie caustique et du chlorure de magnésium). Tous les sels de magnésie ont d'ailleurs des propriétés agglutinantes. — Le *silicate de magnésium*, mélangé à la magnésie, donne des stucs. Le *fluosilicate de magnésium* est utilisé pour des moulages d'ornement. — L'*oxy-chlorure de magnésium* sert à agglomérer l'émeri et à fabriquer des meules.

Les *produits réfractaires* sont tantôt la magnésie, tantôt des briques silico-magnésiennes (20% de silice). Ils présentent, à cause de leur cohésion, une grande supériorité sur les produits calciques. Malgré cela, ils ont un emploi restreint à cause de leur prix élevé.

Le *carbonate de magnésium* sert à la fabrication de l'acide carbonique gazeux et donne comme résidu de la magnésie calcinée qui, en suspension dans l'acide sulfureux, se transforme en *bisulfite de magnésium*. Celui-ci, mélangé à des débris de bois, donne de la pâte de bois.

La *dolomie* ($CO_3Ca + CO_3Mg$) sert au garnissage des cornues Bessemer et à diverses applications en métallurgie.

Parmi les *silicates magnésiens*, le talc sert à cause de son onctuosité pour polir les verres, les métaux. On l'utilise dans la fabrication de la bouillie bordelaise pour permettre l'adhérence aux feuilles. Il a également des emplois dans les manufactures de papier. Son prix (environ 70 fr. la tonne) est très variable suivant la qualité. — En bloc, la *stéatite* sert à fabriquer les crayons de tailleur, des tubes pour becs de gaz et isolants électriques. Une variété (pierre à savon ou *soapstone*) sert réellement de savon dans quelques pays d'Afrique, et d'isolant. L'*Ecume de mer* est utilisée pour la fabrication des pipes, des brûleurs à gaz, des tubes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les serpentines et les néphrites servent de pierres d'ornement.

Minerais. — Les principaux sont la giobertite (CO_3Mg), la dolomie ($CO_3Ca + CO_3Mg$) et le chlorure de magnésium de Stassfurt.

Statistiques. — Les produits sont extraits dans une foule de petites carrières, aussi la statistique est-elle très difficile à faire.

La giobertite est exploitée en Autriche, en Grèce, dans l'Île d'Eubée, dans l'Inde; elle vaut environ 30 fr. sur place, et 100 fr. après calcination.

On produit environ 200.000 tonnes de dolomie par an.

A Stassfurt, on extrait 80 à 90000 tonnes de chlorure de magnésium.

Mode de Gisement.

Le Magnésium est, plus même que le Fer, l'élément basique par excellence. On le trouve dans la serpentine (44%), le péridot (40 à 50%), l'enstatite (35%), l'augite (15%), l'actinote (22%). La haute teneur de la serpentine en magnésium explique l'abondance des produits magnésiens dans les régions serpentineuses.

Ce magnésium des roches se dissout assez facilement et donne du sulfate, des bicarbonates, des chlorures. Il arrive ainsi finalement dans les bassins d'évaporation et dans la mer. C'est l'un des produits qui s'évapore le dernier et il reste dans les parties déliquescentes.

Gisements de giobertite

On le trouve toujours associés à des serpentines, etc.... En Eubée se trouvent depuis 30 ans des exploitations importantes, aujourd'hui en décroissance. On y a trouvé un certain nombre de filons qui, par suite de la résistance de la giobertite aux agents atmosphériques, dessinent des reliefs assez accentués (production environ 20000 tonnes.)

En *Styrie*, elle est exploitée par une compagnie américaine.

On en connait en *Italie*, dans la province de Turin sur le flanc Est du Monte Capanna, dans l'île d'Elbe. On en a découvert récemment dans l'Inde; la production (10.000 T, pendant deux ans) a vite baissé.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisements de Dolomie

L'origine des dolomies, qui a été discutée dans plusieurs cas particuliers, semble être multiple :

1° Effets de réactions superficielles. Le carbonate de calcium s'enrichit en magnésium, par suite de la concentration de celui-ci et passe à l'état de dolomie. En effet, la dolomie se dissout 50 fois moins vite que le calcaire ; par suite de la tendance à reformer le produit le moins soluble, les calcaires se dolomitisent peu à peu.

Ce phénomène s'est produit aussi le long de beaucoup de gisements de fer, de zinc et de plomb ; le calcaire est passé à l'état de dolomie ; il ne paraît pas y avoir eu d'apports de magnésium venant de la profondeur ; car la dolomitisation y est nettement en rapport avec des phénomènes d'altération superficielle.

2° La dolomie peut être exceptionnellement en relation avec des roches éruptives, le long de certains filons métaphyriques. On avait invoqué à tort cette explication pour des récifs dolomitiques du Tyrol. Il s'agit en tous cas de phénomènes assez restreints.

3° Il peut y avoir eu précipitation dans des lagunes en même temps que l'anhydrite. Tel est le cas probable des dolomies qui se trouvent au-dessus des gites cuprifères du Mansfeld.

En résumé, la dolomie est une substance très fréquente. On remarquera que sa formation se faisant avec concentration, elle acquiert de ce fait une structure caverneuse.

Gisements de talc et de stéatite

La concentration du magnésium a pu se produire sur des schistes amphiboliques et pyroxéniques. Cela paraît être l'origine du talc et de la stéatite.

Dans l'Ariège, en Styrie, dans l'état de New-York (U.S.A.), les gisements se trouvent au contact des schistes amphiboliques et ont pour toit des argiles graphitiques.

Le contact de ces terrains imperméables nécessite la localisation des eaux souterraines, concentrant le magnésium de la roche.

Gites d'Ecume de mer.

Les conditions sont analogues. C'est une substance très rare. Elle vient presque

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

uniquement d'Asie-Mineure (Esky-Cheir). Il y a là un très grand nombre de puits qui vont atteindre des brèches serpentineuses. On y trouve des blocs d'Ecume de mer, recouverte de sléxtite. On la gratte; on la polit avec des étoffes; on l'expédie à Vienne (Autriche) où se trouve le centre de son commerce.

Glucinium

La position de ce métal dans la classification chimique est discutable. Au point de vue métallogénique il y a nettement un groupe Ca-Mg-Gl parallèle au groupe Ca-Ba-Sr.

Il est probable que le Glucinium est plus abondant dans les terrains qu'on ne le croit. En effet, le Glucinium se concentre et s'isole dans les calcaires.

On utilise des silicates de Glucinium : Emeraude, Phénacite; - des aluminates de Glucinium : Cimophane.

L'Emeraude donne lieu à un certain nombre de gisements intéressants (Altaï, Nouvelle-Grenade).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Aluminium

Ce métal a certaines analogies avec le Glucinium. Il a dès à présent une grande importance industrielle qui se développera encore dans l'avenir.

Usages et statistiques

Il est extrêmement répandu dans l'écorce terrestre, mais l'isolement pratique de l'Aluminium est récent; car les procédés classiques de réduction par le carbone ne s'appliquent pas à lui. C'est en 1827 qu'on isola pour la première fois quelques globules d'Aluminium; en 1854, Sainte-Claire-Deville en isola des quantités notables en traitant par le sodium un chlorure double d'Aluminium et de sodium; en 1855, on tenta une exploitation industrielle à Javel et à Salindres; l'Aluminium valait 1300 fr. le kilog; en 1880 on produisait 2000 tonnes d'Aluminium valant 150 fr. le kilog.; actuellement il vaut à peine 1 fr. 50 le kilog. C'est là l'exemple peut-être unique d'un produit industriel dont le prix a baissé dans la proportion de 1 à 1000.

Cette baisse rapide de prix a amené au point de vue commercial des à-coups importants quand la production était en avance sur la consommation. Encore actuellement, l'industrie de l'Aluminium est dans un état instable.

Usages de l'Aluminium. — L'Aluminium a de nombreuses qualités spéciales : sa légèreté analogue à celle de la porcelaine, sa grande malléabilité, comparable à celle de l'or et de l'argent, sa ductibilité, sa ténacité, son inaltérabilité à l'air, même à température élevée. Il a un grand défaut: sa fusibilité à basse température, vers 650 degrés; il perd sa ténacité à une température beaucoup plus basse. Aussi ne peut-on pas l'employer pour la fabrication des machines. Malgré cela, soit pur, soit à l'état d'alliages, il a de nombreuses applications. Sa légèreté lui donne une grande supériorité dans les industries de luxe (automobiles; cycles; aviation). Il remplace le zinc pour la lithographie. Son application à l'électricité peut lui donner un grand avenir; pour le même prix on a, en volume, 4 fois plus d'Aluminium que de Cuivre; le fil doit seulement être un peu plus épais;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

à cause de la conductibilité moins grande. On estime que pour un usage électrique déterminé, on dépense 100 avec l'Aluminium, alors que l'on dépenserait 205 avec le Cuivre. Il y aurait cependant quelques inconvénients, de sorte que son utilisation est surtout une question d'avenir.

Les alliages d'Aluminium (*bronzes d'Aluminium*) rendent, à cause de leur inaltérabilité, de grands services pour la fabrication des tuyaux, coussinets, et on fabrique aussi des laitons d'Aluminium, des alliages d'Aluminium et de magnésium, d'Aluminium et de tungstène.

L'Aluminium sert aussi dans la *métallurgie du fer*; introduit dans les coulées, il empêche les soufflures; il donne à la fonte un grain plus fin.

L'*Aluminothermie* est utilisée pour la réduction de certains oxydes métalliques; la combustion de l'aluminium donne, en effet, une quantité de chaleur considérable et suffit à faire fondre certains métaux (chrome).

Application des composés de l'Aluminium. — L'*Alumine* est consommée en quantité croissante, comme produit intermédiaire entre la Bauxite et l'Aluminium cristallisé. L'*Alumine cristallisée* constitue les corindons, les rubis, les saphirs, quand elle contient un peu de fer ou de chrôme.

Le *sulfate d'Aluminium* se substitue à l'alun pour la teinture et la fabrication des papiers blancs. Les *aluns* ont toute une série d'usages pour la clarification des eaux, la thérapeutique (produits astringents) etc...

Le *sulfite d'Aluminium* sert dans l'industrie du sucre.

Principaux minerais. — Ce sont la Bauxite, l'Alunite, les Aluns naturels, le Kaolin, la cryolite.

Les Aluns sont obtenus en partant tantôt de la Bauxite, tantôt des Kaolins etc...

Statistique. — Elle est difficile à faire pour l'ensemble des produits alumineux et n'est possible que pour l'Aluminium métallique.

1897 ..... 3000 tonnes

1907 .... 32000 tonnes, dont 17000 en Amérique du Nord, 5000 en France, 4000 en Angleterre.

Cette production dépend surtout des conditions industrielles et du prix de revient

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

de l'énergie électrique. Aussi est-elle surtout développée dans les pays de montagnes (Alpes, etc...)

Bauxite. — C'est de l'Alumine hydratée où le Fer peut remplacer partiellement l'Aluminium. Elle contient généralement:

40 à 80 % d'Alumine

0 à 20 % d'oxyde de Fer

10 à 15 % d'Eau.

Il y a, de plus, une certaine quantité de silice; mais à la différence de ce qui se passe dans les kaolins, elle n'est pas combinée mais simplement associée. Cependant il paraît y avoir dans certains cas des mélanges de bauxite et de kaolin, formant une série continue entre les deux produits.

Usages et Statistiques

La valeur de la bauxite varie beaucoup; elle vaut généralement 0fr,35 l'unité, à 50%, ce qui fait 17fr,50 la tonne. Ce prix monte à 0fr,40, soit à 24fr la tonne, quand la teneur d'Aluminium monte à 60 %.

Par suite de la valeur relativement faible de ces minerais, leur situation géographique et leur facilité d'exportation jouent un rôle important. Les principaux pays producteurs sont le sud de la France et le centre des Etats-Unis.

La zône d'extension des bauxites du Sud de la France s'étend tout le long de la côte méditerranéenne depuis le Var jusqu'à l'Hérault (Villeveyrac) et à l'Ariège. Quelques gisements sont disséminés sur le bord sud du Massif Central, dans la Lozère et dans le Cantal.

On connait également des gisements de Bauxite dans l'Irlande, les Apennins, le Karst autrichien.

Aux Etats-Unis les principaux centres se trouvent dans l'Alabama, l'Arkansas et la Tennessee.

Dans l'Inde, la Bauxite est en rapport avec les produits de décomposition latéritique, en particulier avec ceux des régions de trapps, à l'est de Bombay.

Mode de gisement.

La Bauxite est un produit d'altération continentale, comme les Phosphates, les minerais de fer en grains, etc... Son mode de formation se réalise encore aujourd'hui par

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

la décomposition des roches en pays tropicaux ; les alcalis et la silice se dissolvent ; celle-ci va se concentrer dans les chailles, les rognons, les meulières. Il y a alors production d'Alumine libre.

La Bauxite de Provence, connue depuis 1821 a donné lieu à de nombreuses discussions et théories. Son âge est bien déterminé ; elle repose en transgression sur des terrains d'âge varié, jusqu'à l'Aptien inférieur ; elle est d'autre part antérieure au Cénomanien qui la recouvre. Elle correspond donc à la phase (Albien, Cénomanien inférieur) pendant laquelle on observe dans ces régions une lacune dans la sédimentation. Quelques géologues ont prétendu, il est vrai, que cette lacune était d'ordre purement tectonique.

Aux Baux, près d'Arles, elle est intercalée entre l'Aptien et le Turonien ; elle a une structure globulaire et est constituée par des grains pisiformes. Il y a tous les passages entre les Bauxites ferrugineuses et les fers en grains (voir plus loin) qui contiennent toujours une certaine proportion d'Alumine libre.

Tous ces minerais contiennent d'ailleurs une certaine teneur en acide titanique, il en est de même dans les argiles.

La teneur des Bauxites en silice arrive à descendre à 4 % dans les bons échantillons. Les bauxites sont, soit rouges, soit blanches. Celles-ci sont plus pures.

Aux environs de Toulon, les Bauxites sont intercalées entre l'Aptien et le Turonien ; on trouve quelques lambeaux de Cénomanien par places, aussi Marcel Bertrand a-t-il pensé que la lacune pouvait, là, être de nature tectonique.

En Italie, il existe des gisements de bauxite, signalés par Sainte-Claire-Deville, d'ailleurs avec une méprise sur la position véritable du gisement.

Les bauxites de l'Inde sont remarquables par leur teneur : 12 % en acide titanique.

La bauxite des Etats-Unis est très activement exploitée (100000 tonnes), surtout en Arkansas ; elle sert à produire de l'Alumine, des Alums, un abrasant (l'Alundum), des matériaux réfractaires. Elle est là recouverte par des argiles sableuses, d'âge éocène.

Alumine cristallisée

Elle constitue le rubis, le saphir, le corindon quand elle est pure, l'émeri quand elle est impure.

Elle résulte du produit de l'isolement de l'Alumine dans certains terrains et de sa cristallisation par métamorphisme.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On a fait la synthèse artificielle du rubis et du saphir qui se fabriquent aujourd'hui d'une façon courante. Fremy et Verneuil les obtinrent les premiers en paillettes minces par l'action du fluorure de baryum, du carbonate de potassium et de l'alumine. On eut plus tard des rubis artificiels, en faisant fondre au chalumeau oxhydrique de petits rubis, en les saupoudrant de nouveaux petits rubis, de façon à nourrir les cristaux primitifs. La coloration rouge est obtenue en ajoutant un peu d'oxyde de chrôme. On avait essayé d'obtenir de même des saphirs en ajoutant de l'oxyde de cobalt; mais celui-ci était rejeté par le bain; on est arrivé à le fixer en ajoutant de la chaux; on obtenait ainsi du saphir non cristallisé. Depuis, on a eu de meilleurs résultats en faisant l'opération en milieu réducteur, avec addition d'un peu d'oxyde de fer ou de titane.

Conditions de gisement. Les rubis et les saphirs se trouvent à Ceylan dans des roches cristallines, des feldspaths, des dolomies, etc... traversées par diverses roches du groupe des granulites. Les corindons se recueillent dans des cipolins où ils sont associés à des spinelles, à de la chondrodite. Mais ainsi en place ils sont généralement trop peu abondants pour pouvoir être exploités. On les recherche plutôt dans les points où ils ont subi une préparation mécanique naturelle, transportés dans des sortes de poches (*pieds d'éléphants*) où l'on trouve mélangés du rubis, du saphir, de la pierre de lune, de la chondrodite, des grenats.

On trouve des gisements analogues en Birmanie, et dans le Siam à la limite des possessions françaises.

Emeri.

Il a des applications importantes; très dur, il raye à peu près tous les minéraux; sauf le corindon. On s'en sert donc pour le polissage.

L'émeri de Smyrne (Turquie) est préférable à celui de Naxos (Grèce) et à celui du Canada.

Le gîte de Naxos est connu de toute antiquité; le prix de vente est élevé et variable :

1848 ..... 787 fr. la tonne

1895 ..... 65 fr.

actuellement ..... 110 fr.

La production varie entre 7000 et 10000 tonnes.

Les Gîtes d'Asie Mineure sont très dispersés. On ne connait les résultats

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

que par les statistiques des ports, faussées d'ailleurs par la fraude (environ 20000 t.)

La région d'Ontario, Canada, produit 1500 t.

Gisements. — A Naxos il y a des masses lenticulaires (5 à 50 m. d'émeri et d'argile (il s'agit peut-être d'anciennes bauxites) au milieu des micaschistes, des cipolins et des dolomies. Le cube total est évalué à 5 millions de tonnes. L'extraction est difficile à cause de la dureté de l'émeri qui résiste aux outils d'acier.

A Smyrne, il s'agit également d'un gisement détritique dans des brèches et des fissures d'un calcaire.

Aux Etats-Unis, certains gisements sont associés à des minerais de fer; leurs produits furent même exploités pour fer; ce n'est qu'au haut-fourneau que l'on s'aperçut de leur infusibilité.

Alun

$SO_4Al + SO_4K_2$. Il se produit quand de l'acide sulfurique, provenant de pyrites altérées, se trouve en présence de sels potassiques résultant de la décomposition des feldspaths. C'est ainsi que se sont formés des cristaux d'alun, au pied du Mont-Dore et en Asie-Mineure.

On le produit aussi artificiellement en faisant décomposer des schistes alumineux, pyriteux, soit seuls, soit en y ajoutant de la potasse à l'état de sel de Stassfurt ou de Kainite.

Alunite

C'est une substance beaucoup plus rare que l'Alun. C'est un sous-sulfate d'aluminium et de potassium qui contient 57% d'Alun et qui est rendu insoluble par un excès d'Alumine. Pour la transformer on traite successivement par de l'acide sulfurique et du sulfate de potassium

La production est à peu près monopolisée par les gisements de la Tolfa, près Civita-Vecchia, découverts au XV^e^ siècle par un gentilhomme vénitien revenant d'Asie-Mineure. Il y a là d'immenses excavations à ciel ouvert; progressivement chacune d'elle s'est épuisée en profondeur et on en a été réduit à un seul filon, Providenza, qui s'est à son tour coincé en profondeur. On en est réduit à faire des glanages sur les anciens résidus d'exploitation.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On a considéré autrefois l'Alunite comme le produit d'une sorte d'éruption ; en réalité, il s'agit d'un phénomène très assimilable aux phénomènes de kaolinisation et lié au voisinage de la surface ; car il cesse progressivement en profondeur et il est remplacé

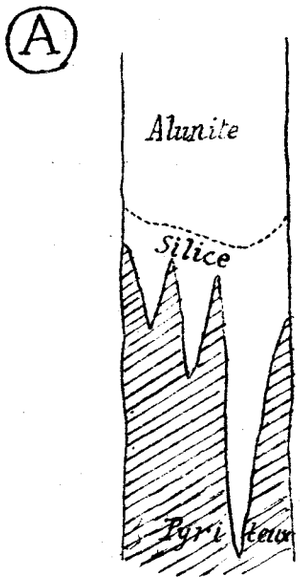


Fig. 46

Coupe verticale de l'un des filons de la Tolfa.

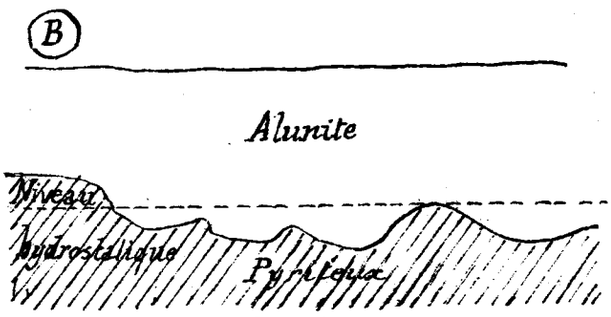


Fig. 47

Coupe longitudinale des filons de la Tolfa.

par des trachytes pyriteux. La coupe longitudinale d'un filon montre que la surface suivant laquelle se produit cette transformation n'est pas régulière et qu'elle coïncide grossièrement avec le niveau hydrostatique de la région.

L'Alunite est mélangée à une certaine proportion de cristaux de quartz, proportion qui augmente en profondeur où le filon devient presque exclusivement quartzeux avant de passer au trachyte. Par suite, les silicates d'Alumine se seraient décomposés et la silice, éliminée, s'est concentrée à la base du filon ; le phénomène est en quelque façon comparable à la cémentation. De même la barytine, présente dans les parties superficielles disparaît en profondeur.

Les gisements de Kaolin sont solidaires des gisements d'alunite ; ils se produisent quand les roches mères ne sont pas pyriteuses.

De même la différence des bauxites rouges et blanches tiendrait à la nature blanche ou ferrugineuse du trachyte originel.

Cependant les filons d'alunite paraissent en relation avec des filons métallifères ou avec leur prolongement. Il semble donc que, sur certaines veines des trachytes, plus riches en sulfures métallifères, aient porté les transformations ultérieures qui ont donné naissance à l'Alunite.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Chrome.

Usages et Statistiques

Le chrome était employé autrefois dans l'industrie des matières colorantes; il l'est encore; mais son emploi à cet égard ne s'est guère développé. Cet emploi (30000 t.) nécessite des minerais à forte teneur en chrome (au moins 50%) Les principales usines se trouvent à Eberfeld en Allemagne, à Glascow en Ecosse, à Baltimore aux Etats-Unis.

Son usage pour la métallurgie prend une extension de plus en plus grande Il a fait passer la consommation à 150000 tonnes. On l'emploi à la fabrication des ferro-chromes et des fers métalliques. Le chrome est utilisé dans la fabrication de l'acier et il est un des premiers métaux que l'on ait ajoutés. Il augmente la dureté de l'acier, (mais à trop forte dose, il le rend cassant) et le rend utilisable pour les blindages, des obus, des outils; l'inconvénient est de déterminer des ruptures subites; on y obvie en prenant des aciers demi-doux au lieu d'acier doux.

Il sert à fabriquer des soles neutres pour acier soudable, fer fondu soudant, des fours à creusets. On l'emploie tantôt en agglomérés, tantôt à l'état de briques formées de fragments de fer chromé naturel.

Statistiques. — Le fer chromé vient de Nouvelle Calédonie qui produit de 30 à 60000 tonnes suivant l'état de l'industrie métallurgique, de la Rhodesia, qui, exploitée depuis 1906, a fourni 35000 tonnes en 1909. Les gîtes du Transvaal ne paraissent pas encore exploitables. La Turquie d'Asie (environs de Makri) fournit 25000 tonnes. la Grèce (Thessalie et Skyros) 12000 tonnes, l'Oural 10000 tonnes, l'Inde 3 à 4000 tonnes (gîtes découverts depuis 7 à 8 ans sur la frontière du Baloutchistan). Le Canada et les Etats-Unis ont une production assez faible. Les gisements du Banat et de Styrie sont épuisés.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Conditions géologiques

Les minerais sont de deux sortes : 1° le Fer chromé qui, pratiquement, est seul exploité ; 2° la Crocoïse ou chromate de plomb qui n'a qu'un intérêt théorique.

A – Fer chromé.

Il se trouve en inclusions ou en ségrégations. On connait des roches où le Fer chromé est un élément disséminé dans la roche comme l'est la magnétite et n'y a pas grande valeur, ou bien il s'y trouve sous la forme de spinelle (picotite). Puis il se concentre ; on connait des grains noirs assez volumineux. Enfin il peut former des noyaux, amas, lentilles. Mais il s'agit toujours de phénomènes de segrégation. L'exploitation s'arrête à 40 à 50 m. de la surface, non pas parceque le minerai est lié à celle-ci, mais parcequ'il s'agit d'énormes nodules limités et disséminés.

Ces gisements de fer chromé se trouvent dans des régions à serpentine ; mais pas dans toutes. Il y en a peu en Italie, beaucoup en Nouvelle-Calédonie et dans l'Oural. Ailleurs ils sont tous très analogues.

Les masses de serpentine (enstatite, bronzite, etc...) contiennent des veines avec de pseudo-filons de fer et de chrome ; elles renferment une certaine proportion de silicate (chrysotile) et un peu de silice.

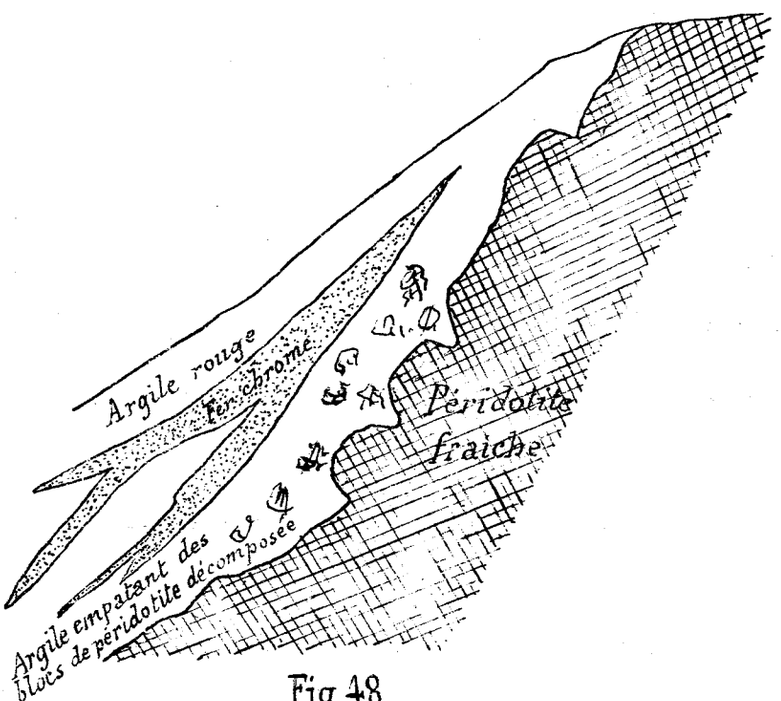


Fig. 48

Schéma de la disposition des gîtes de fer chromé dans la péridotite en Nouvelle Calédonie.

Les gisements de Nouvelle-Calédonie se trouvent en roches ou en éboulis. Ceux-ci sont les plus faciles à exploiter et fournissent la plus forte proportion de minerai.

Au-dessus de la péridotite, à surface irrégulière, on trouve une argile rouge avec beaucoup d'oxyde de fer accompagné de minerais de nickel, de cobalt, de chrome. A la base on rencontre une série de noyaux avec fragments

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

irréguliers de péridotite et une faible teneur en fer chromé. Au dessus se trouvent des lits plus riches où le fer chromé a échappé à l'altération

B_Crocoïse.

C'est une substance assez rare. On la trouve dans des filons acides, en relation avec des granulites. Elle serait due à l'action de fumerolles chloro-chromiques sur des sels de plomb. Elle s'est isolée en même temps que les sels de bismuth, la tourmaline, la pyrite, la pyrite arsénicale, l'or natif. Elle appartient donc au groupe stannifère.

Les principaux gisements se trouvent à Berezowsk (Oural), au Transvaal (Swaziland).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Fer.

Usages, statistiques.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les usages du fer n'ont pris d'importance que depuis une époque récente. Sans doute le fer a été employé de tous temps, mais il n'a eu pendant longtemps d'applications qu'en ce qui concerne les petits objets. La tradition antique en faisait un métal de grande valeur. (Homère rapporte que dans une course on donna un lingot de fer comme prix): les métallurgies primitives, en effet, obtenaient facilement le cuivre et les alliages de cuivre, alors qu'elles ne produisaient qu'un fer de mauvaise qualité et en quantités minimes. L'usage du fer se développa progressivement, pour la fabrication des outils et des armes; cependant au Moyen-Age, celles-ci étaient encore fabriquées en bronze.

Ce n'est guère qu'au 19e siècle, avec le développement des voies ferrées, de la navigation à vapeur, avec l'extension de l'emploi des machines et la construction de grands ouvrages d'art, que le fer commença à être utilisé en quantités considérables.

Minerais industriels.

A l'origine, on cherchait à traiter des minerais très fusibles et très purs. On a donc exploité tout d'abord des magnétites et des limonites; les sables à magnétite ont été recherchés comme les sables stannifères le long des cours d'eau et des côtes. Les gisements remaniés de la Nièvre, de la Vendée, de la Bourgogne, de la Côte d'Or et des Pyrénées ont été, pour les mêmes raisons, mis en valeur dès le début.

Ces scories anciennes, recherchées maintenant, ont fourni des quantités considérables de fer et ont montré le nombre énorme de ces petites exploitations anciennes.

Dès le début du 19e siècle l'exploitation s'étendit à des minerais moins fusibles. Vers 1860 l'invention de Bessemer fixa la nouvelle formule à adopter: les minerais manganésifères et aussi exempts que possible de phosphore furent recherchés presque exclusivement pendant 40 ans. La région de Bilbao, l'Ile d'Elbe, l'Erzberg styrien, la Suède (Dannemora) fournirent une quantité considérable de minerais répondant aux conditions requises. Ils valent relativement cher et sont en voie d'épuisement. Aussi les métallurgistes commençaient-ils à s'alarmer.

L'invention des procédés de déphosphoration par le convertisseur basique et le

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

four Martin permirent d'exploiter les minerais que leur teneur élevée en phosphore avait jusqu'alors fait rejeter. A l'heure actuelle ces derniers constituent la source principale de matière première. Parmi les régions qui ont pris de ce fait ou sont à la veille de prendre une importance primordiale on peut citer la Laponie suédoise, (Kirunavara, Gellivara); la Lorraine française; la Normandie; les Etats-Unis (Clinton); le Cleveland en Angleterre.

Enfin certains grands amas de titano-magnétites, dès à présent bien connus en Norwège, en Afrique, fourniront de grosses réserves quand on saura les traiter. Il en sera de même de certains minerais de fer arsénicaux.

Conditions d'exploitation industrielle

Elles peuvent se ramener aux suivantes :

1°) Les minerais doivent se prêter à une exploitation très économique : l'extraction en carrières, quand elle est possible, présente sous ce rapport une grande supériorité. Les dragages du Lac Supérieur constituent également un type d'exploitation à faible prix de revient.

2°) Le gisement doit être très étendu; car les frais de première installation sont toujours considérables dans une exploitation active. Les grands gites sédimentaires réalisent cette condition.

3°) La teneur en fer ne doit pas être inférieure à 30 %.

4°) En ce qui concerne la composition du minerai, la présence de calcaire constitue toujours un avantage sur la silice. La proportion de manganèse est également une circonstance favorable. Par contre, l'existence de As, Ti, peut provoquer, si ces éléments sont en proportion notable, l'impossibilité-absolue jusqu'à présent - de traiter le minerai.

En ce qui concerne le phosphore la question est aujourd'hui résolue, ainsi que nous l'avons déjà indiqué. Suivant la teneur on peut répartir les minerais en 3 classes :

Classe	Teneur en Phosphore	Traitement
I	de 0 à 0,05 %	Bessemer acide.
II	de 0,05 à 0,08	Mélanges avec d'autres minerais
III	de 0,08 à 0,1	Déphosphoration (convertisseur basique, procédé Martin)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

5°) Le gite doit être facilement accessible; autant que possible il doit se trouver à proximité soit de la mer, soit d'un centre de production de la houille, de façon que le traitement du minerai puisse se faire sur place.— L'épuisement des gites les plus favorablement placés tend d'ailleurs à diminuer l'importance de cette condition. C'est ainsi que les gisements d'Algérie et de Laponie suédoise ont pu être mis en valeur malgré leur distance de la côte.

Les régions où l'association du fer et de la houille est réalisée donnent lieu, dans les pays civilisés, à la constitution de centres métallurgiques dont l'importance industrielle peut devenir énorme : Allemagne, Angleterre, France, Etats-Unis : on assiste aujourd'hui à un phénomène de ce genre dans les pays nouvellement ouverts à l'industrie, la Chine, (Han Kéou), la Sibérie (Kousnetzk) par exemple.

Les pays privés de combustible minéral ne peuvent qu'exporter leur minerai.

Parmi les consommateurs les plus importants, l'Allemagne offre des débouchés énormes aux producteurs de minerai. Aussi s'efforce-t-elle de devenir propriétaire de mines en Laponie suédoise, en Lorraine, à Bilbao, au Maroc. Les Etats-Unis, quoique leur production soit encore considérable, doivent également envisager comme une éventualité prochaine (environ 35 ans) l'épuisement des minerais riches du Lac Supérieur et la nécessité de faire appel à la production étrangère.

Cours

Minerai moyen de Suède à { 60 % Fe / 1 % Phosphate } ..... l'unité de fer 0f.66

Minerai à 40 % Fe ..... l'unité 0f.25

Le minerai à moins de 32% est difficilement vendable. Les mines de Lorraine exportent des minerais tenant de 32 à 40 % de fer. Au dessous de 32 % le traitement se fait le plus souvent sur le carreau de la mine. Au dessous de 30 % le minerai n'est plus qu'une castine ferrugineuse et sa valeur est très réduite. C'est ainsi que les minerais luxembourgeois, à 25 % ne valent que trois francs la tonne et ne peuvent être vendus que parcequ'ils sont calcaires.

Mais tous ces minerais à faible teneur, comptés actuellement pour zéro dans les estimations de cubage, pourraient être mis en exploitation avec une légère augmentation du prix de vente ou un léger abaissement du prix de revient.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Statistique

Elle montre d'une façon très nette l'augmentation de la production de fonte et la diminution du prix de revient

Fonte.

Année	1800	1850	1871	1891	1900	1910
Production en millions de tonnes	0,8 environ	5	13	26	40	66

Minerai

Année	1908	1909
Extraction en millions de tonnes	112	135

Les principaux producteurs de minerai de fer sont les suivants et la répartition de la production par pays a été en 1909 :

Pays	Minerais		Fonte
	Production en millions de tonnes	% approximatif	Production en millions de tonnes
Etats-Unis	54	40	26
Allemagne	19	14	13
Angleterre	15	11	10
France-Algérie	12	9	3,6
Espagne	9	6	0,35
Luxembourg	5	3,5	
Russie	5	3,5	2,9
Suède	5	3,5	0,45
Autriche	3,5		2
Terre-Neuve	1	4	
Italie, Ile d'Elbe	0,5		
Grèce	0,5		
Belgique			1,6
Canada			0,7

Il faut remarquer que la rapidité avec laquelle croit la production française modifiera à bref délai cette répartition. Celle de la fonte est différente de celle des minerais à cause du transport des minerais (importation, exportation.)

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Principaux centres de production

Etats-Unis. — Le bassin du Lac Supérieur a produit en 1909 43 millions de tonnes de minerai soit près de 80 % de la production totale (54 millions de tonnes) des Etats-Unis. Les conditions géologiques sont des plus favorables à l'exploitation. Les transports par bateaux permettent d'amener directement le minerai jusqu'au grand centre industriel de Pittsburg.

Les districts sont les suivants :

Districts	Production en millions de tonnes	Réserve en millions de tonnes
Mesabi Range	29,6	3.100
Menominee	5	100
Gogebic	4,5	115
Marquette	4,3	110
Vermilion Range	1,1	60

Les chiffres des réserves sont discutables ; car ils sont évalués en tenant compte des minerais jusqu'à une grande profondeur, des minerais plus pauvres que ceux que l'on exploite actuellement, tous minerais qui ne seront accessibles industriellement que si les conditions économiques de la région sont modifiées. Il faut ajouter, à la région du Lac Supérieur, le Colorado et dans l'Est, l'horizon silurien de Clinton.

Allemagne. — La Lorraine produit 14 millions de tonnes par an.

La Prusse produit 5 millions de tonnes, le Grand Duché de Luxembourg à peu près autant, la Hesse 360.000 tonnes, la Bavière 300.000.

Angleterre. — Le Cleveland (minerais phosphoreux) fournit à lui seul la moitié de la production anglaise. Le Cumberland et le Lancashire produisent presque toute l'autre moitié (minerais pour Bessemer). On importe en outre beaucoup de minerais riches et purs.

France. — L'exploitation des minerais de fer a pris un développement considérable depuis quelques années. La Meurthe-et-Moselle a doublé sa production en dix ans et a produit 11.000.000 de tonnes en 1909 ; cette production s'accroîtra rapidement lorsque les concessions encore inexploitées entreront en activité.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les minerais siluriens de Normandie, connus depuis longtemps à St-Remi, représentent environ 400.000 tonnes par an. Là encore un développement rapide de la production semble à la veille de se produire. Il existe encore quelques régions secondaires : les Pyrénées-Orientales (300.000 tonnes de bon minerai), le Gard, l'Aveyron, l'Ardèche, le Maine-et-Loire.

Algérie. — Le département d'Oran produit environ 500.000 T. (Cafira) appartenant à la Cie de Mokta-el-Hadid. Le département de Constantine fournit 140.000 T. Les grands gisements algériens constituent une réserve considérable qui jouera un rôle important et transformera le pays lorsque la question des concessions sera tranchée. Les gisements de la Tunisie et du Maroc sont également appelés à prendre une importance industrielle considérable.

Espagne. — Le district de Bilbao a, depuis 1875, produit 150 millions de tonnes. La réserve peut être évaluée à 61 millions de tonnes. Au taux d'extraction actuel, elle peut donc représenter une durée de 15 ans au maximum.

Le district d'Oviedo, qui paraît renfermer de grandes quantités de minerai est à peine exploité à cause des grandes difficultés de transport.

Russie. — Le centre principal est celui de Krivoï-Rog dans le S-O de la Russie ; ses minerais précambriens sont peu éloignés du bassin houiller du Donetz. Ils s'épuisent très vite.

L'Oural peut être appelé à fournir une production importante ; mais il est encore pour le moment trop peu accessible.

Il faut enfin signaler les minerais phosphoreux de la presqu'île de Kertch en Crimée. Leur traitement est difficile et leur exploitation encore faible.

Suède. — Le minerai de Suède a été universellement réputé pour sa pureté ; aussi l'exploitation des minerais phosphoreux a-t-elle été longtemps retardée, pour ne pas jeter le discrédit sur l'ensemble des minerais suédois. Aujourd'hui, encore, la production des grands gîtes de Kirunavara est limitée légalement ; l'exportation est de 1.600.000 T. Le gisement de Gellivara exporte 720.000 tonnes. Enfin, à côté de ces deux gîtes principaux, il faut encore citer celui de Grängesberg.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Norvège. — Les gisements se trouvent dans la partie septentrionale de la presqu'île scandinave. Les minerais siliceux et phosphoreux nécessitent une préparation mécanique et un briquetage. Si défavorables que soient ces conditions, une des mines de la région, située à la frontière russe, près du Cap Nord (Sydvarangerfjord) a pris une certaine importance.

Autriche-Hongrie. — Le minerai se rencontre dans le Silurien de Prague, dans l'Erzberg styrien et carinthien. En Hongrie, on a pu citer les districts de Wajda Hunyad, du Banat.

Italie. — Le seul centre de production important est celui de l'Ile d'Elbe.

Canada. — Les gisements canadiens prolongent ceux des Etats-Unis dans la région des Grands Lacs.

Terre-Neuve. — L'île de Terre-Neuve renferme des réserves considérables de titanomagnétites, inexploitables jusqu'à présent.

Réserves de minerais.

Minerais riches

	Réserve de
Kirunavara et Gellivara, minerai à 60-70 %	700 millions de tonnes
Krivoï-Rog	50
Bilbao	60
Ile d'Elbe	peu important
Total pour l'Europe, plus de	810

Ces réserves étant en somme peu importantes, étant donné la consommation, les métallurgistes se sont inquiétés et ont cherché des minerais de fer sur les autres continents (Algérie, Inde, etc.)

Minerais phosphoreux pauvres. — Elles sont beaucoup plus importantes :

Lorraine ---- Réserve de 7 à 8 milliards de tonnes disponibles

Cleveland --- Minerai à 25 %

Normandie, régions d'Oviedo et de Léon.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Géologie

Le fer a un rôle constant dans les roches. La teneur moyenne de 5% augmente dans certains minéraux : alors qu'un granite ne tient que de 0 à 5%, un basalte peut tenir 15%. Les minerais proprement dits sont constitués par des silicates, des oxydes et des sulfures.

Principaux minerais

Silicates. — Les silicates de fer sont la chamosite (46% Fe.) qui joue un grand rôle dans les minerais oolitiques, l'ilvaïte (40%) qui forme le minerai de l'île d'Elbe. La hornblende, les péridots, les grenats, tiennent jusqu'à 20% de fer. C'est ainsi que les grenats du Banat constituent un véritable minerai de fer.

Oxydes. — L'oligiste et la magnétite se rencontrent d'une façon constante dans les roches avec des concentrations sur certains points.

Sulfures. — Les sulfures de fer forment la pyrite (FeS_2), et la pyrrothine (env. F^eS)

Le Fer natif se rencontre à Ovifac (Groënland) où on l'a trouvé en masse pouvant atteindre 20^T.

Modes de gisement

Les cristallisations des minéraux ferrifères se sont faites d'après les modes suivants :

1°) par scorification directe

2°) par l'intervention de fumerolles : une certaine proportion de fer a pu être mise en mouvement à l'état de chlorure, puis d'oxydes, (oligiste, magnétite). Ce phénomène peut encore s'observer dans les bombes volcaniques.

3°) Une certaine proportion de fer, parti à l'état de sulfures, a donné lieu aux pyrites (amas pyriteux.)

4°) Enfin dans les dernières fumerolles, il y a encore eu une certaine quantité de fer ayant donné des carbonates ; ces gisements sont relativement superficiels.

Des remises en mouvement ont pu ensuite produire des remplissages plus superficiels encore. En résumé, les gîtes affectent les formes suivantes : Gîtes d'inclusions

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

correspondant à la scorification directe ; gîtes de ségrégation ; Gîtes de départ immédiat ayant donné lieu aux filons de contact ; Filons proprement dits ; Gîtes sédimentaires.

Les transformations d'une forme de minerai à une autre peuvent s'accomplir facilement. Le schéma ci-dessous (fig. 48bis) représente la nature de ces transformations:

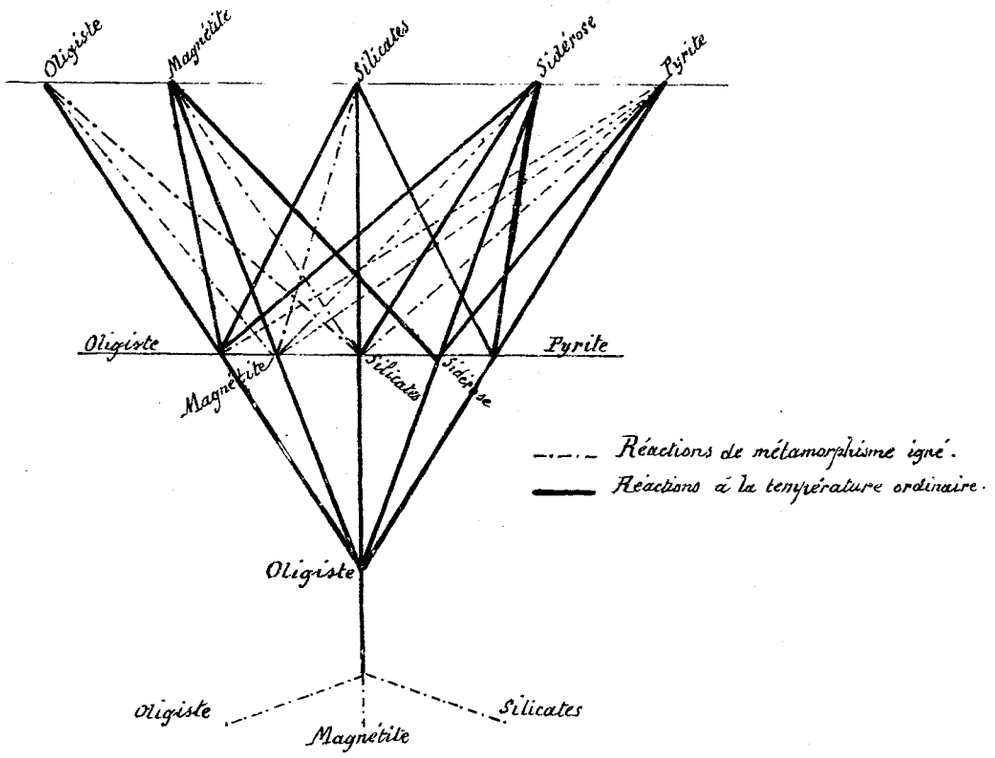


Fig. 48bis.

Schéma destiné à montrer les cycles de transformation des principaux minerais de fer. (à lire de haut en bas.)

A la température ordinaire, la magnétite peut se transformer en oligiste par l'action des eaux chargées de chlorures, ou en sidérose. On ne connait guère de cas de transformation en silicates; les silicates peuvent rester à l'état de silicates ou passer à l'état d'oligiste ou de pyrite ; la sidérose peut donner naissance à de la sidérose, à de l'oligiste, à des silicates, à de la pyrite. Ce cycle de métasomatose aboutit toujours en fin de compte à l'oligiste, qui peut lui-même se transformer en sidérose, qui d'ailleurs n'est pas stable et tend à repasser à l'état d'oligiste.

La voie ignée, peut donner comme types extrêmes: de l'oligiste, de la magnétite ou des silicates.

Le phénomène est donc très complexe et il faut dans chaque cas particulier se rendre compte du cycle parcouru.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Conditions d'utilisation des minerais de fer.

Parmi les minerais de fer, certains ne sont utilisables qu'après un traitement préalable (pyrites et carbonates); dans certains gisements, seules certaines parties sont exploitables: c'est le cas des gisements siliceux, la teneur en silice pouvant être supérieure à la limite admissible. Enfin des minerais à forte teneur sont inexploitables à cause de la présence de certaines impuretés. Nous allons étudier successivement le rôle de celles que l'on rencontre le plus fréquemment.

Chaux. — La chaux existe toujours. Quant elle est sous forme de carbonate (calcite, dolomie, ankérite), elle contribue à donner une fusibilité plus grande au laitier et donne une plus value aux minerais. Si, au contraire, elle se trouve sous forme de phosphate, sa présence déprécie le minerai et peut le rendre inutilisable.

Silice. — La silice peut être originelle (généralement d'origine élastique) ou due à des apports secondaires; dans ce dernier cas, elle est en général substituée au calcaire. Sa présence infusibilise les laitiers; cet inconvénient peut être pallié par le mélange avec des minerais calcaires, et actuellement les minerais siliceux, autrefois inutilisables, peuvent être exploités avec avantage. C'est ainsi que tous les minerais du groupe de Mesabi Range (Lac Supérieur) sont entièrement siliceux (jaspilites); c'est aussi le cas des minerais "agatisés" du Gard, de ceux de l'Anjou, etc.

Alumine. — L'alumine est nuisible au dessus d'une certaine teneur. Certains minerais présentent une teneur considérable, qui les fait plutôt considérer comme des alumines ferrugineuses que comme de véritables minerais de fer. Tels sont les minerais de fer en grains qui présentent des types de passage aux latérites et aux bauxites.

Phosphore. — La proportion du phosphore est très variable et joue un rôle essentiel dans la vente des minerais de fer. On divise industriellement les minerais de fer en 3 groupes:

1° Minerais non phosphoreux à moins de 0,02 % P. Ils sont d'excellente qualité et sont très recherchés pour le Bessemer. Ils se présentent en général:

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

a) sous forme de lentilles intercalées dans l'Archéen, pour la plupart métamorphisées, et résultant peut-être de la substitution de la silice à des calcaires originels encore apparents au contact, soit à leur état naturel, soit pyroxénisés.

La présence du calcaire paraît avoir joué un rôle important dans la déphosphoration.

b) à l'état de minerais ayant subi des réactions superficielles (Mesabi Range Vermillon, etc), se superposant à un métamorphisme ancien. Ces minerais sont parfois réduits en poussière et exploitables au moyen de dragues.

c) sous forme de produits de substitution à des calcaires. Les filons sulfurés contenaient peu de phosphore; les terrains calcaires encaissants en contenant peu également. Les minerais résultant sont donc très peu phosphoreux.

2° Minerais très phosphoreux : à plus de 0,1 % P. Ce sont également des minerais sédimentaires non métamorphisés, mais ayant subi une minéralisation postérieure au dépôt : c'est ainsi qu'ils se présentent souvent sous forme d'une lumachelle dont les fossiles sont transformés en minerai.

Tels sont les minerais de Kertch en Crimée où il y a des cristallisations de phosphate de fer et où il est certain que le phosphate est d'origine organique ; ceux de Meurthe-et-Moselle, ceux de Clinton (Etats-Unis).

3° Les minerais moyennement phosphoreux (entre 0,02 % et 0,1 % P.) sont moins recherchés ; ils ne peuvent être traités que par mélange avec l'une ou l'autre des catégories précédentes et leur valeur est par ce fait beaucoup moindre.

Le phosphore est donc, en définitive, le plus souvent d'origine organique ; mais il a pu s'éliminer soit par action métamorphique, soit par entraînement par les eaux de circulation. Dans d'autres cas au contraire, le phosphore est introduit postérieurement au dépôt par suite d'une action métamorphique : certains minerais de Suède ou de l'Altaï par exemple sont traversés par des veinules de granulite à apatite.

Soufre. — Le soufre est une impureté si gênante que l'on abandonne le plus souvent dans une mine les parties sulfureuses : en Lorraine, par exemple, il existe des couches entières pyritisées, d'une couleur verte, qui ne sont pas exploitées. Le même fait se reproduit dans les gisements filoniens où le sulfure de fer est accompagné fréquemment de blende, galène et pyrite comme à Dannemora. Quelquefois les parties inférieures de certaines mines des Pyrénées sont exploitées pour galène.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Arsenic. — Les minerais de fer arsénicaux résultent de l'altération du mispickel : ils sont généralement inutilisables, comme ceux du Nord de la Tunisie. Ces minerais constituent des réserves considérables pour le jour où on saura les traiter.

Titane. — Il en est de même des gisements très importants de titanomagnétite, à 10 – 14% TiO_2, en Suède (Rutivaara), à Terre-Neuve, dans les monts Adirondacks, qui sont actuellement inexploitables. Ce sont des minerais de ségrégation basique.

Manganèse. — Il augmente la valeur des minerais de fer. On a reconnu son importance dès le début du traitement au Bessemer. Il accompagne d'ailleurs fréquemment les gisements de fer, surtout au voisinage des zônes d'altération des calcaires. Il passe quelquefois (Ile d'Elbe) à de véritables gisements superficiels de manganèse.

Cobalt. — Associé fréquemment au manganèse, il existe toujours en traces très faibles. Sa présence est plutôt nuisible.

Chrome. — Il est fréquent dans les minerais de segrégation. Sa présence en faible proportion rend inutilisable les grandes masses de minerai à 2 et 3% de Cr de l'Ouest-Africain. Au contraire, à 6 ou 7%, la présence du chrome donne des qualités spéciales.

Vanadium. — La teneur en Vanadium est proportionnelle à celle du phosphore.

La présence du *Cu, Zn, Pb*, n'a pas grande importance. Celle du *Mo* et du *W* est avantageuse quand ces métaux existent en traces très faibles.

Distribution géographique des minerais de fer.

Inclusions. Ségrégations. — Ces gisements se trouvent dans les régions à magmas granitoïdes, au milieu des plates-formes primitives, quand l'érosion a pu atteindre jusqu'à la profondeur nécessaire. Il y a donc une couronne de gisements de cette espèce autour du pôle nord, en Norwège, en Suède, en Finlande, en Sibérie et au Canada. Plus au sud, ces sortes de minerais disparaissent complètement.

Filons. — Les filons jouent un rôle métallurgique insignifiant : ils se trouvent dans les régions disloquées par les plissements hercyniens et alpins. Dans les chaines plus anciennes, plus usées, ils ont été enlevés par l'érosion et n'apparaissent pas.

Les filons ne sont utilisables que lorsque leur altération superficielle, précédée

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ou non par une substitution en terrain calcaire a concentré en amas le fer tout d'abord disséminé dans un gîsement étendu.

Gites sédimentaires. Ces gisements se sont produits dans les périodes qui ont suivi les grands plissements et en bordure de ces plissements : dans le Silurien, le Lias, le Trias, etc..

I - Gîtes d'inclusions.

Ils constituent un type plutôt théorique que pratique. Ils ne sont exploitables que s'ils ont été réduits, par érosion, à l'état de sables. Aucun, d'ailleurs, n'est exploité actuellement. Mais aux époques préhistoriques, les sables à magnétite ont fait l'objet de recherches suivies sur les plages et dans les alluvions des rivières.

Dans ces inclusions, on trouve plusieurs sortes de minerais :

On a trouvé le *fer natif* dans la falaise d'Ovifak (Groënland) qui en a fourni 20 tonnes, et dans les *météorites* où il accompagne un péridot à 20% de nickel et du phosphure de fer.

La *Magnétite* existe dans les roches basiques où elle a cristallisé pendant les deux temps de consolidation de la roche. Le fer oxydulé apparaît dans le premier temps de cristallisation des roches granitoïdes et dans les minéraux secondaires (augite, hornblende, etc...).

Ces inclusions sont très développées au Japon, dans un granite kaolinisé à 2% de Titane, et en Nouvelle-Zélande sous forme de sables titanifères.

L'*oligiste* existe, au contraire, dans les roches acides en association avec les micas: il donne sa couleur rose à l'orthose, et violette aux porphyres. On en trouve des inclusions volumineuses dans certaines bombes volcaniques.

II - Gîtes de ségrégation

Les ségrégations donnent quelques gites industriels généralement épuisés aujourd'hui. Ces gisements se sont formés, surtout en roches basiques, par une véritable opération métallurgique qui a concentré les éléments ferrifères vers le centre : le gisement de Taberg (Suède) en est un exemple typique. (fig. 49). Le fer, le titane et le vanadium au centre, tandis que les feldspaths calciques (plagioclases) gagnent la périphérie.

On constate, en effet, la présence fréquente du titane dans les minerais de ce type. Par exemple, dans le gisement de Routivaara, on observe les variations de teneurs suivantes dans les trois zônes concentriques:

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

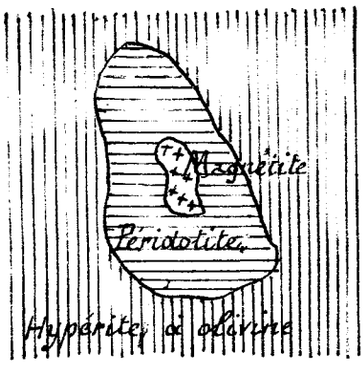


Fig. 49.

Schéma du gisement de Taberg.

	Zône centrale	Zône intermédiaire	Zône périphérique
SiO_2	4 %	47 %	5 %
Al_2O_3	6,4	23	29
TiO_2	14,5	0,3	0,3
Na_2O	0,3	3	4,5
MgO	4	8,5	0,4
Fe_3O_4	68	6,5	0,6

Le minerai de la zône centrale est donc une titano-magnétite spinellique.

Ce grand amas de Routivaara a d'ailleurs subi des mouvements mécaniques ; peut-être la ségrégation est-elle antérieure au métamorphisme de la région et aux plissements huroniens. — Ce phénomène se retrouve : 1°) dans les gisements finlandais, dans la mine de Välimäki, au bord du lac Ladoga où l'on rencontre une magnétite titanifère dans un gabbro ; 2°) dans les gisements canadiens : à Terre-Neuve, par exemple, les minerais de ce type, qu'il ne faut pas confondre avec les minerais dévoniens de la même île, tiennent, en moyenne, 65 % Fe et jusqu'à 16 % TiO_2.

Dans l'hémisphère sud il existe des plates-formes analogues, les gisements du Brésil et de l'Afrique australe (*Buschveld.*) présentant des gabbros, des hypérites, des norites, etc... avec ségrégations de fer.

D'autres gisements se trouvent dans des conditions toutes différentes dans les terrains de la zône alpine. C'est, par exemple, celui de Cogne, dans le Val d'Aoste ; il ne permet que des exploitations, très restreintes, d'une série d'amas de magnétite, dans les serpentines, d'exploitation difficile par 2.300 mètres d'altitude. Le plus grand de ces amas ne contient d'ailleurs que 300.000 tonnes.

A Alnö (Suède), on trouve des syénites néphéliniques avec des ségrégations d'ilménite et de fer titané qui sont un véritable type de passage entre les ségrégations basiques et les gisements du type suivant.

Passage des types de ségrégation aux types de contact (Kirunavara, Oural, Banat).

Gîte de Kirunavara. — Situé en Laponie, il présente une masse de minerai englobée dans les porphyres et son origine est très discutée ; il paraît dériver directement des

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

porphyres encaissants. Cette relation se retrouve dans l'Oural, la Sibérie, etc... Kirunavaara est le plus septentrional de la Laponie suédoise. Connu depuis longtemps, il n'est accessible que depuis l'ouverture du chemin de fer (1906) qui le relie: 1° à la Baltique et par suite à l'Allemagne, 2° à la Mer du Nord et par suite à l'Angleterre. Il est exploité à ciel ouvert et joue un rôle prépondérant sur le marché européen.

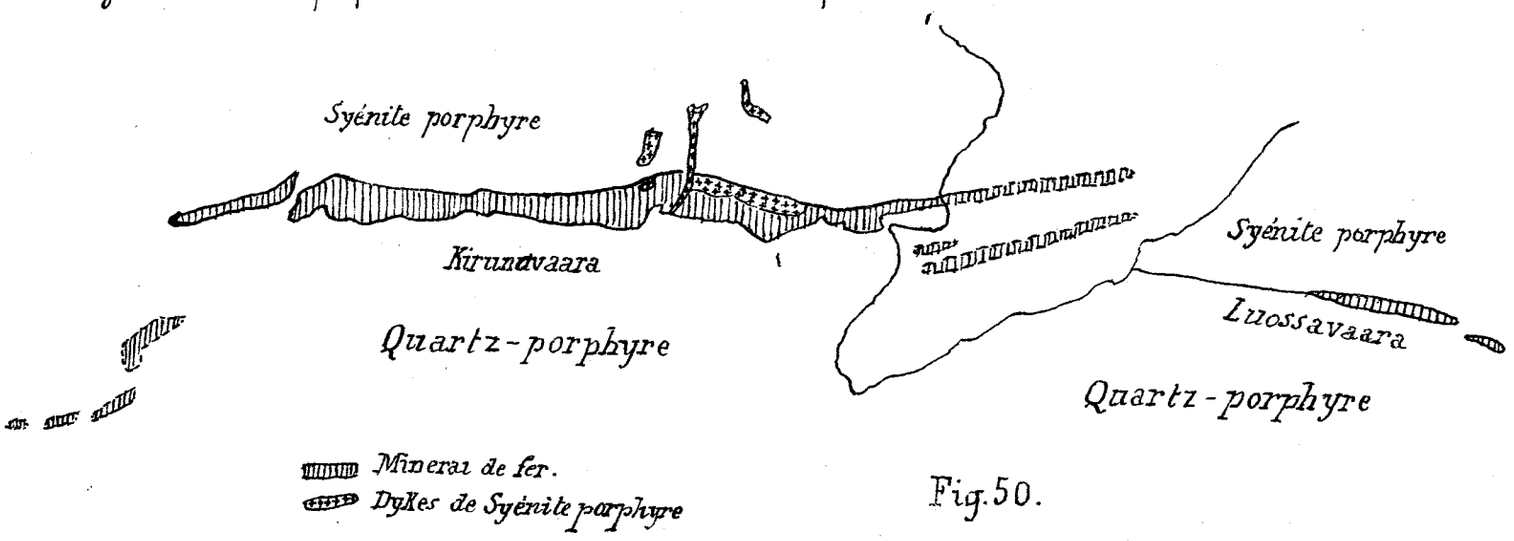


Fig. 50.

Carte et Coupe géologiques schématiques de Kirunavaara et de Luossavaara (Sweppland, Suède).

Les minerais forment un amas très allongé (fig. 50) ayant l'apparence d'un filon. La magnétite, plus dure que les porphyres encaissants, reste en relief. La masse présente une certaine inclinaison de sorte que son affleurement est supérieur à son diamètre (fig. 51); elle a d'ailleurs une tendance à se coincer en profondeur.

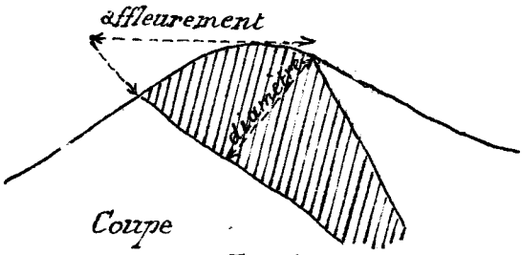


Fig. 51.

On a pu établir un cubage exact du gisement qui a été reconnu par une centaine de sondages. La section totale du gisement est de 436.000 m.q.; c'est la plus grande connue; Routivara n'a qu'une section de 300.000 mètres carrés. Chaque approfondissement de 1 m. fournit 1.900.000 tonnes, c'est-à-dire plus que la production annuelle. — Le cube total de la partie du gisement située au-dessus du niveau du lac est de 240.000.000 T. Le cube existant jusqu'à 300 m. au-dessous du niveau du lac serait de 672.000.000 T. — Etant donné la production annuelle, le gisement durerait environ 336 ans.

Le minerai est une magnétite à grain très fin, gris d'acier. La teneur en apatite est très variable: elle est comprise entre 0 et 33%. Le minerai moyen a la composition suivante:

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Phosphore ---------- 1,5 %
Fer métal ---------- 63,0

De plus on y trouve des traces très faibles de titane, mais pas la moindre trace de soufre. Ce gisement diffère beaucoup du type des ségrégations basiques : la coupe montre, en effet, une série de terrains ayant un aspect de quartzites, des conglomérats ferrifères ; le gîte de minerai est entre deux couches de porphyre. Parmi les innombrables théories émises (lambeau sédimentaire coincé, filon etc...), la plus vraisemblable est qu'on se trouve en présence d'un départ voisin de la segrégation.

Dans l'Oural, les minerais de fer forment des gisements analogues, mais souvent complètement dénués de phosphore. Ils sont tous englobés dans des syénites ou des porphyres fluidaux, sodiques, comme à Kirunavaara.

Il est intéressant de mettre en évidence l'action exercée sur les lambeaux de calcaires avoisinants ; la plus grande partie des minerais paraît s'être substituée à des calcaires au contact ou à l'intérieur des porphyres. On a donc un type de passage aux minerais de substitution.

Il y a donc eu plusieurs stades successifs :

1°) le minerai est englobé dans la roche (comme à Taberg et à Routivara) ;

2°) commencement de départ (cas de Kirunavaara) ;

3°) séparation avec action des terrains encaissants (cas de l'Oural) ;

4°) substitution évidente à des calcaires (cas du Banat).

Les gisements de l'Oural ne donnent lieu qu'à une exploitation industrielle peu intense à cause de la difficulté des transports. De plus, il n'existe aucun autre combustible que le bois ; les tentatives d'établissement de grands centres industriels ont donné peu de résultats jusqu'ici.

Le gisement de Troïtsk est le plus septentrional : il est situé dans le Dévonien, surmonté, en discordance, par le Permien, terrains traversés tous deux par de nombreuses roches : microgranites, gabbros, pyroxénites. Les minerais appartiennent à deux types : 1°) le type de ségrégation au milieu d'un granite un peu basique, la Rosvite, en blocs de magnétite atteignant 200 kilogs. A partir du noyau central, la roche s'appauvrit progressivement en magnétite et se charge en plagioclases ; sur la périphérie on trouve une teneur normale en fer et en magnésie. ___ 2°) des gisements de magnétite dans les terrains primaires pré-dévoniens contenant des lambeaux de calcaires transformés en cornéennes, pyroxénites, etc... et traversés

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

par des roches éruptives. Quelques gisements de magnétite tendent à s'interstratifier dans les terrains encaissants, en formant une série de bancs très analogues à des filons-couches et enclavés dans les cornéennes. Mais l'étude d'ensemble indique, à l'évidence, qu'il s'agit d'une introduction postérieure.

Plus au sud, la mine du *Mont Blagodat*, présente des syénites et porphyres ayant traversé les terrains sédimentaires : le minerai est associé à une roche à minéraux (épidote, grenats, cuivrite), englobant des lambeaux calcaires.

Le gisement du *Mont-Vissokaya* renferme de la chalcopyrite associée à de la magnétite. Il y a eu des phénomènes d'altération superficielle, mais en profondeur le gisement est en rapport avec des syénites passant à des porphyres et avec des calcaires; il s'agit encore d'un départ immédiat, mais avec passage aux types du Banat et de Traverselle.

Le gisement du *Mont Magnitnaya* est un amas de magnétite associée à des grenats et à des épidotes, inclus dans des orthophyres à épidote.

En résumé, ces gisements de fer de l'Oural sont des gîtes de ségrégation dans des syénites sodiques avec accentuation de minéralisation au voisinage des calcaires. Ceux-ci, par un phénomène de départ immédiat, se transforment en silicates accompagnés de minerais de fer et chalcopyrite.

Les gisements sibériens du groupe de l'Iénisséi sont des amas ou stock-werks de magnétite, dans des roches syénitiques et orthophyriques : tels sont les gisements d'*Irba* et d'*Abakansk*. Dans d'autres groupes, on trouve des "quasi-filons" comme au Mexique (Sonora) et dans le sud des Etats-Unis (Arizona).

Les gisements de *Nikolaïevsk* sont inclus dans des porphyrites à olivine présentant des géodes de quartz, magnétite, calcite et d'autres minéraux d'introduction postérieure. La magnétite semble avoir été le résultat de la transformation de l'hématite : elle affecte souvent la forme de gros pisolithes. Il y a eu une action très nette des porphyrites à olivine et une remise en mouvement postérieure des éléments ferrugineux.

Type du Banat. — C'est l'exagération du type de l'Oural.

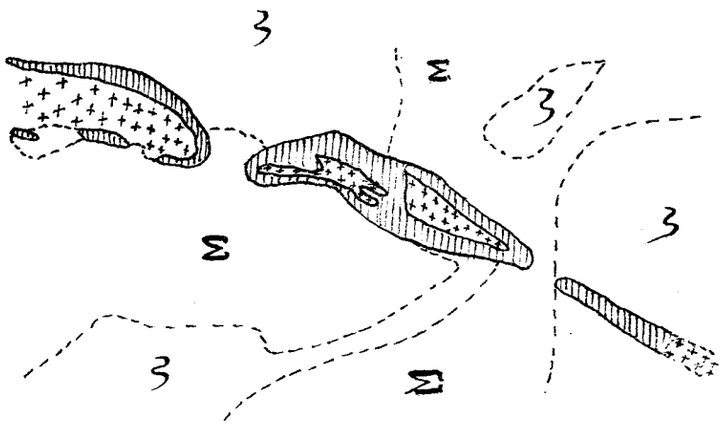
Le gisement se trouve dans une zône de terrains calcaires, jurassiques et crétacés, traversés par des roches dites banatites, qui comprennent plusieurs groupes: gabbros, diorites, diorites quartzifères, etc...

On a sur toute la longueur du gisement plusieurs types de phénomènes: d'abord

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

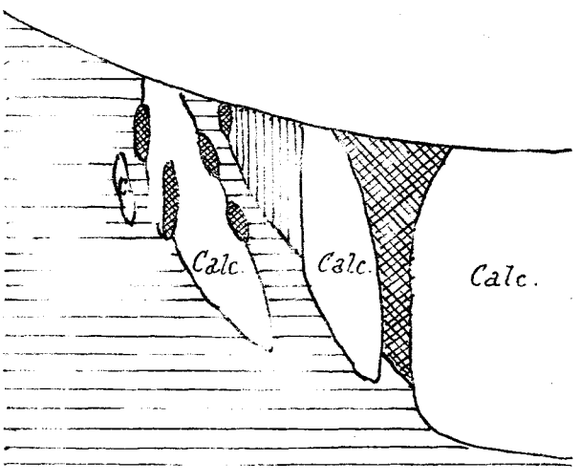
une zône de métamorphisme, sorte de gangue de silicates (grenats, pyroxènes à calcite cristallisée) au milieu de laquelle se trouvent des noyaux métallifères à magnétite et Chalcopyrite. On a donc 2 types de gisements, ceux de Fer et ceux de Cuivre. On observe, de plus, la trace de phénomènes hydrothermaux sous forme de blende et galène abondantes. Le zinc est particulièrement typique dans ce gisement: il s'accompagne de chalcopyrite et de galène. On se rappelle que dans l'Oural il y avait peu de blende et pas de galène.

On s'est demandé, autrefois, l'origine de la minéralisation. Les analyses chimiques des terrains encaissants des roches et des minerais ont montré nettement qu'il y avait eu apport métallifère par les roches. Il semble bien que la présence d'une gangue silicatée



3. Micaschistes. ⁂ Calcaire métamorphique.
Σ. Syénite ▭ Gangue avec amas métallifère

Fig. 52.



C. Calc. = Calcaire.
═══ Gangue grenatifère.
||||||| Gangue à 5 à 10 % de minerai
XXXXX Minerai.

Fig. 53.

Carte géologique schématique de la région de Dognaska. *Coupe de la mine Paulus.*

démontre l'intervention de fumerolles, qui ont laissé, sur place, des géodes minéralisées.

Dans les gisements de l'Arizona, l'apport devient très net; on y voit l'extrémité filonienne des gisements sous la forme de géodes. On passe successivement des amas aux filons, puis aux géodes; la démonstration de l'apport du fer par la roche est complète.

Le gisement de Traverselle (Piémont) montre une accentuation des caractères vers le type des gisements de cuivre. C'est un gîte classique d'où proviennent de nombreux minéraux: sidérose, chalcopyrite, magnétite. L'exploitation industrielle est très ancienne: on la reprend, de temps en temps, sans grand succès, et actuellement, seul le gisement voisin de Brosso, est l'objet d'une petite exploitation. Le minerai est constitué par des cristaux de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

magnétite en rapport avec les roches post-crétacées, dont la série doit être rapprochée des tonalites de l'Adamello et de la zône d'Ivrée. Le long de ces roches, il y a des cristallisations de magnétite avec accentuation des cristallisations géodiques et augmentation de la teneur en cuivre. Il semble qu'il y ait eu, de plus, intervention de phénomènes hydrothermaux beaucoup plus récents.

III - Filons.

Dans le cas du Fer, ils jouent un rôle très faible au point de vue industriel. On y trouve les minerais sous la forme d'oligiste, de sidérose, de pyrite.

a) *Filons d'Oligiste.* — C'est l'exagération du type de Kirunavaara où le filon est englobé exclusivement dans la roche d'où il provient.

Ailleurs, il a pu cristalliser au contact d'autres roches.

b) *Filons de Pyrite.* — On connaît quelques cas où la pyrite est associée à de l'oligiste ou à de la magnétite; elle s'est formée le long des veines de magma granitique et est accompagnée d'un peu de fluorine.

Au Missouri (Etats-Unis) on trouve au milieu des porphyres quartzifères, deux types de ce cas:

Iron-Mountain, amas de 10 à 12 m. encaissé dans les porphyres, se rapproche un peu du type de Kirunavaara.

Pilot Knob, au contact des porphyres et des calcaires encaissants, doit plutôt être comparé au type du Banat.

Dans les Vosges, à Framont, l'oligiste avec magnétite et un peu de pyrite traverse des granites et est en rapport avec des microgranites. Ce gite n'a jamais eu de valeur industrielle.

Les filons de pyrite de fer sont très nombreux; mais ils ne sont pas exploités pour fer, à peine pour soufre (voir pages 68-72). Ils ne deviennent utilisables que dans deux cas: lorsqu'il s'est produit des *chapeaux de fer* sur des filons de pyrite, ou lorsqu'au contact de *calcaires* il s'est formé des gisements de carbonates, ultérieurement transformés en oxydes.

c) *Filons de Sidérose.* — Ils jouent parfois un rôle réellement industriel, comme à Siegen (Allemagne), berceau de l'industrie métallurgique du fer dans le bassin de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

la Rührzt comme à Allevard (Isère).

A Siegen, les gisements ont une tendance à prendre l'apparence de filons-couches interstratifiés localement dans les terrains sédimentaires. Le plan des filons montre que la région est criblée d'une multitude de petites fractures, parallèles et perpendiculaires, généralement courtes.

La sidérose se prolonge en profondeur jusqu'à 635m, ce qui vient à l'appui de l'hypothèse que la sidérose est le minerai original. Cependant, comme les mines paraissent s'épuiser en profondeur, cette théorie reste discutable.

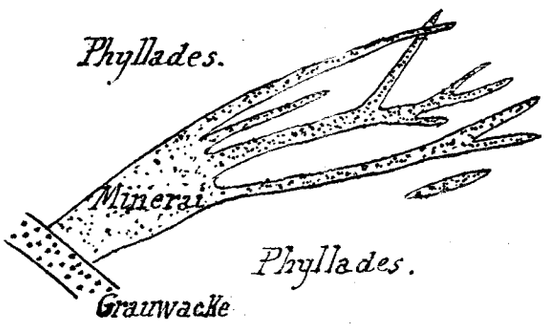


Fig. 54.
Plan du gîte de Stahlberg près Musen.

A Allevard (Isère), il existe tout un système très développé de filons de sidérose, associée à de la chalcopyrite. La mine fut même exploitée primitivement pour cuivre, mais progressivement on a trouvé des minerais sans cuivre.

Dans ce groupe d'Allevard, à la Taillat, on a exploité un certain nombre de filons de sidérose; leur production (50.000 tonnes par an) baisse progressivement (6000 t. en 1910).

Chapeaux de filons pyriteux.

Ces gîtes étaient constitués originairement par de la pyrite et ont subi des transformations résultant d'une oxydation superficielle.

Les types les plus nets se trouvent en Algérie, Tunisie, Maroc.

Ces gisements sont, en réalité, des gisements du type B.S.P, avec accessoirement du mercure, dispersés en une multitude de petites fractures; dans le cas spécial du fer, il y a eu concentration dans un chapeau de fer important qui ne paraît pas avoir toujours des racines profondes. On en connaît plusieurs exemples, parmi lesquels on peut citer:

Gisement de la Tafna ou de Beni-Saf. — Il est situé à l'extrémité ouest de l'Algérie, appartenant à la Compagnie de Mokta-el-Hadid, et constituant l'un des principaux gîtes filoniens d'Algérie. On en extrait, par an, 400.000 tonnes d'un minerai extrêmement pur, ne contenant, pour ainsi dire, pas de phosphore et de soufre (sauf quand il s'y trouve des débris de schistes encaissants); ce sont des minerais de première qualité.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Ils occupent des poches filoniennes. Des schistes se trouvent à leur mur. Au toit (fig. 55) il y a soit une brèche, soit des calcaires. La présence de ceux-ci indique que les phénomènes de substitution ont joué ici un certain rôle. Une coupe à plus grande échelle montre qu'il s'agit en réalité d'un amas situé dans un axe synclinal rompu; cet amas a $700^m \times 100^m$. Le gisement est certainement d'âge récent (Miocène inférieur); certains filons en relation avec lui traversent le Crétacé et l'Eocène; on trouve des lambeaux remaniés dans le Miocène moyen.

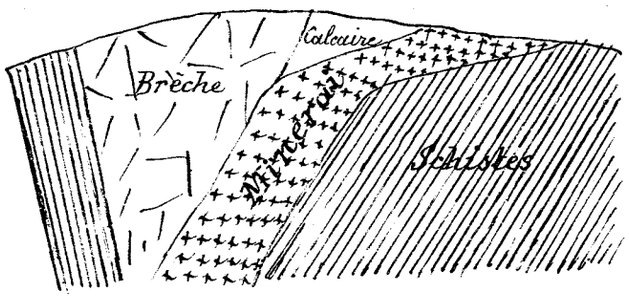


Fig. 55.

Coupe schématique du gisement de Beni-Saf.

Le minerai est de l'hématite brune ou bleuâtre, très faible (à cause de cela, elle n'est pas très recherchée en France) contenant 2 à 3 % de manganèse.

Le gîte se compose de plusieurs parties : R'ar-el-Baroud, Camerata et quelques autres, plus petits, disséminés.

Gisement du Dj. Ouenza. — Les gisements de l'Algérie orientale sont analogues, en particulier celui du Djebel Ouenza qui se présente sous la forme d'une espèce de calotte dans l'Urgo-Aptien. On y a trouvé d'abord des traces de Cuivre qui ont attiré l'attention et fait considérer primitivement pour cuivre. Mais le Cuivre est solidaire du fer et les travers-bancs d'exploration ont mis en évidence que le fer dominait de beaucoup et que le Cuivre jouait un rôle insignifiant. Les cubages ont donné des estimations d'abord évaluées à 100 millions de tonnes, puis ramenées à 30 millions de tonnes.

On connaît des gisements analogues à *Bou Kadra*, à hauteur de Tébessa; le chapeau de fer contient de la Barytine et de la Calamine; la puissance est estimée à 6 millions de tonnes.

Gisements de Tunisie. — Les gîtes de Nefzas, près Tabarca, en Tunisie, sont d'énormes masses de minerais de fer, formant des rochers à allure parfois ruiniforme; elles avaient suscité tout d'abord un grand enthousiasme. Mais leur teneur sensible en arsenic a paralysé l'exploitation. Elle tend à être reprise à l'heure actuelle où les métallurgistes prohibent moins absolument l'arsenic.

Autres gisements. — Des gîtes analogues existent probablement au Maroc

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

où il y a de nombreux Djebel-Hadid. — Le gisement de Goa dans l'Inde, qui appartient à la Compagnie de Mokta-el-Hadid, est encore du même type; il se trouve au contact de calcaires et dans des conditions d'exploitation facile; on l'estime à 100 millions de tonnes.

Altérations superficielles de filons avec substitution à des calcaires.

Ce cas est un des plus importants au point de vue industriel. Le phénomène de substitution a permis une grande extension du minerai; il a assuré une forte teneur en fer; une épuration en phosphore et en soufre, un enrichissement en manganèse, toutes conditions favorables.

Les divers gisements présentent ce caractère commun d'être constitués par de l'hématite et par de la sidérose, celle-ci ayant été une forme antérieure à l'hématite dans le gisement. On trouve, en général, une masse de calcaires épais, intercalés entre des schistes; des fractures filoniennes recoupent les calcaires et les schistes; là où elles recoupent les calcaires, il y a de grands amas; là où elles recoupent les schistes il n'y a plus rien. En réalité les gisements ont pris dans les schistes l'allure de veines éparpillées le long des plans de joints; de plus les minerais y sont moins riches et n'ont pas été étudiés et exploités. Dans les calcaires, la substitution a pu être plus ou moins complète.

Les gisements sont constitués superficiellement par des oxydes; mais en s'enfonçant un peu, on trouve des carbonates; ceux-ci ne remplissent d'ailleurs pas toute la masse; ils ont rempli les fractures et ont envahi certains lambeaux de calcaire, en y faisant tache d'huile. On trouve ainsi un passage progressif de minerais à forte teneur, à des calcaires ferrifères (8 à 10 % de fer, appelés *rohwand* en Styrie) et à des calcaires stériles. La substitution est également mise en évidence par ce fait que des fossiles ont été transformés en carbonates.

Dans certains cas il a pu y avoir transformation directe de filons pyriteux (cas précédent p. p. 211-213), dans d'autres cas, les gisements ayant une allure sédimentaire, le fer s'est progressivement étendu dans les terrains voisins; ensuite les phénomènes d'altération ont progressivement transformé le fer en oxydes et ont enrichi particulièrement certains points. Enfin on peut envisager aussi un cas surtout théorique. A l'origine même des venues métallifères, celles-ci auraient agi immédiatement sur le calcaire. La tache d'huile se serait produit dès le début. Cette explication est celle des théories anciennes;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

elle ne doit probablement s'appliquer qu'à des cas restreints, quand il y a eu véritablement action ignée (cas se rapprochant de celui du Banat. p. 208).

Gîtes d'Angleterre. — Les gisements du *Cumberland* et du *Lancashire* constituent les principales réserves de l'Angleterre en minerai pour Bessemer, tenant 50 à 60% de Fer. La production annuelle est de 1.700.000 tonnes. Le centre se trouve à Barrow. Du charbon se trouve dans le voisinage. Ces gisements sont encaissés dans un ensemble de terrains primaires.

L'Ordovicien est constitué par des schistes et des grès, avec bancs de calcaires. La substitution y est peu importante. Le Carbonifère (Dinantien) est constitué par de gros bancs, intercalés dans des schistes. Des discordances, dues aux mouvements calédoniens et hercyniens séparent l'Ordovicien du Carbonifère et le Carbonifère du Permien. Les venues métallifères (Fer, etc...) sont postérieures au Carbonifère et sont recouvertes par le Trias et l'Infra-lias; elles sont donc nettement datées comme de la fin du Carbonifère ou du Permien. Il y a un système complexe de filons du type P.B.G. dans lesquels ont été ouvertes une série de mines. Elles étaient importantes comme mines de Plomb, dès l'époque romaine; puis on a exploité le Zinc, négligé par les anciens. Les gisements de fer prennent une grande extension.

Ce sont des bancs intercalés dans le calcaire carbonifère; aussi a-t-on soutenu leur origine sédimentaire. Cependant les coupes (fig. 56 et 57) montrent nettement qu'il s'agit

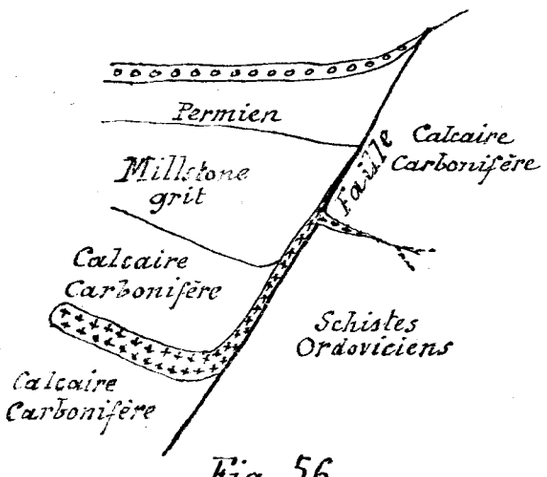


Fig. 56.

Coupe schématique de la mine de New-Parkside (Cumberland)

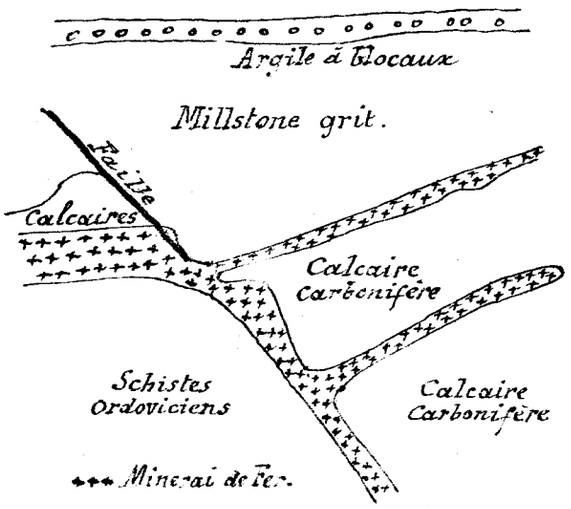


Fig. 57.

Coupe schématique de la mine de Parkside (Cumberland).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

d'une imprégnation postérieure en relation avec une faille. De plus on y trouve de nombreux fossiles, d'âge carbonifère, transformés.

Les minerais sont de l'hématite, bleue ou rouge, compacte, contenant une très forte proportion de fer.

Gisement de Bilbao. — Ce gisement a donné lieu à de nombreuses théories; il est effectivement très complexe à cause des phénomènes d'altération et de remises en mouvement postérieurs; ceux-ci se sont même produits jusqu'à l'époque actuelle.

En réalité il s'agit de phénomènes d'origine filonienne d'âge probablement éocène. Ils ont agi sur des calcaires, des schistes, des marnes, des grès et, suivant les cas, ont donné des minerais d'allure différente; ceux-ci sont très beaux dans les calcaires, de qualité inférieure dans les marnes; il n'y a presque rien dans les schistes et les grès.

Dans cette région, il y a une série de formations depuis l'Aptien (calcaire schisteux et marnes) jusqu'au Cénomanien (grès). Les principaux gisements se trouvaient aux environs de Sommorostro.

Il y a une série de cassures N.E – S.W suivant lesquelles se trouvent de grands amas qui se substituent à des terrains d'âge très divers (Aptien, Cénomanien) ce qui prouve que le Fer n'est pas contemporain des couches encaissantes.

Le minerai comprend trois variétés :

1° *Campanil* (cloche) sonore, rouge pourpre. Il contient un peu moins de Fer, mais un peu plus de manganèse; son traitement est plus facile. Il se vend en moyenne 1 franc de plus la tonne.

2° *La Vena*, minerai de surface, à aspect terreux, résultant manifestement d'un remaniement superficiel où le Fer seul a été remis en mouvement. C'est par suite un minerai très pur et très fusible qui était fort recherché dans les métallurgies primitives.

3° *Le Rubio*, de couleur brune ou jaunâtre, souvent souillé d'argile et à structure caverneuse. Il a une allure presque filonienne.

Les minerais les plus riches ont été trouvés dans le calcaire : « La caliza es la madre del mineral » disent les mineurs espagnols. Cependant dans les psammites et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

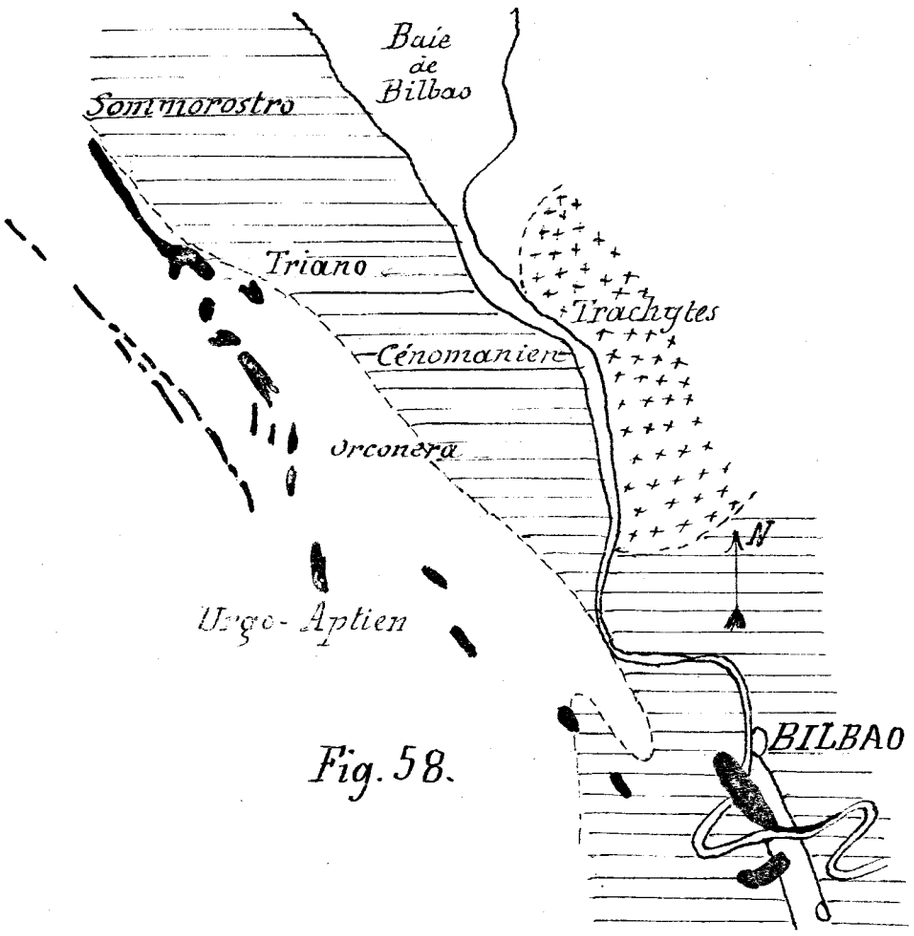


Fig. 58.

Carte schématique des principaux gisements de Fer des environs de Bilbao.

les grès, par exemple à Orconera, il existe un peu de minerai; on en trouve aussi parfois dans les marnes.

Ces gisements de Bilbao ont passé longtemps pour ne fournir que des oxydes de fer; mais actuellement une notable proportion de la production est due à du carbonate de fer qui tend à dominer en profondeur.

Tous ces minerais ont joué un grand rôle dans la métallurgie du fer; ils en constituent depuis 1875 une des principales ressources. Leur production annuelle dépasse 6 millions de tonnes. On estime qu'il reste 50 millions de tonnes à exploiter et que par suite leur durée est limitée.

Gisement des Pyrénées. — On connait de même sur toute la longueur de la chaine des Pyrénées un grand nombre de mines de fer; parmi elles on peut citer *Rancié* où l'exploitation remonte au Moyen-Age et qui constitue peut-être le premier exemple d'une mine aux mineurs. Elle est aujourd'hui à peu près épuisée et sa production est très réduite.

Le gisement est constitué par une série de lentilles inclinées, dont on a représenté la projection verticale sur la fig. 59. Ces lentilles se coincent vers le bas; on les a vidées successivement. Un travers banc récent, effectué à 50 mètres au-dessous de la coupe figurée a retrouvé les mêmes couches, chargées de carbonate de fer.

Le minerai de ces gisements, dit *ferru*, est classique dans les régions pyrénéennes; c'est une hématite brune ou rouge, mélangée à une gangue siliceuse ayant parfois une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Fig. 59.

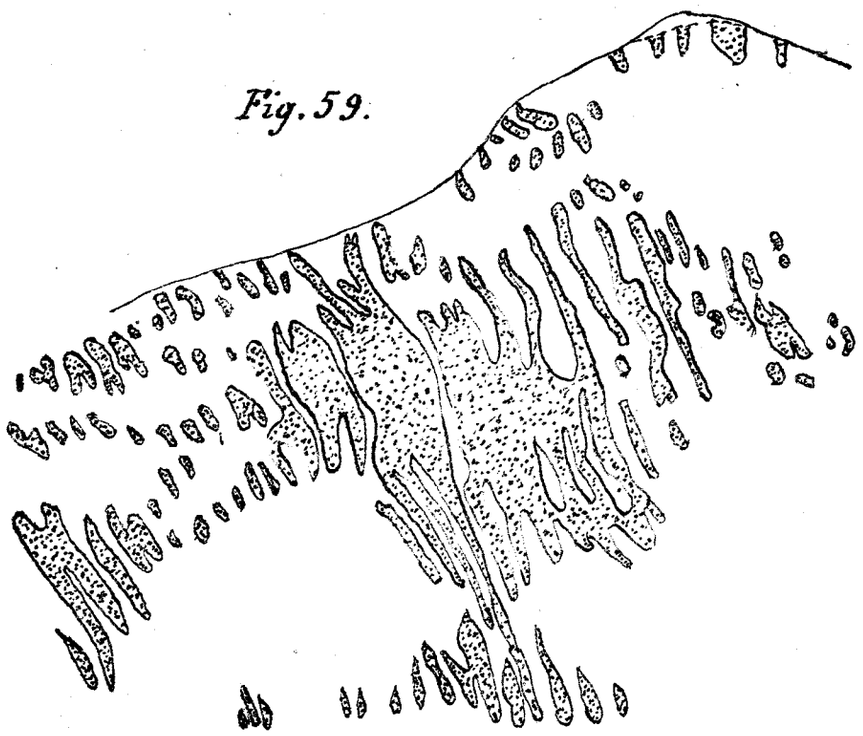


Schéma des lentilles de minerai de Rancié. (Ariège).

allure concrétionnée. On y distingue : Mines noires ou douces dues à une imprégnation de manganèse et constituées surtout par du carbonate ; Mines fortes ou fermes, c'est-à-dire les hématites ; Mines pauvres ou aris.

Vers l'est des Pyrénées, se trouve un autre groupe, celui du Canigou, très anciennement connu, et qui a repris récemment un grand développement. En 1910, ces gisements ont produit 220.000 tonnes d'hématite et 63.000 tonnes de carbonate, celui-ci provenant des couches profondes, atteintes récemment, et étant très purs en phosphores. Il y a là une série de gisements éparpillés sur les flancs nord et sud du Canigou, entre la Tet et la Tech ; ils se trouvent dans les calcaires, mais se prolongent parfois dans les schistes. On a soutenu leur origine sédimentaire ; mais leur forme columnaire montre qu'il s'agit bien de minerais de substitution développés principalement au contact des calcaires et des schistes ; ils forment, soit des minerais à l'aspect de stalagtites, soit des minerais compacts. Ils se ressemblent tous, constituant des amas irréguliers dans les calcaires et des couches de nombre, de teneur et d'épaisseur variables. A Fillols, l'exploitation a porté sur 5 couches. Le minerai est de l'hydroxyde de Fer, passant progressivement à du fer spathique, contenant 53 à 55% de fer et 3 ou 4% de manganèse.

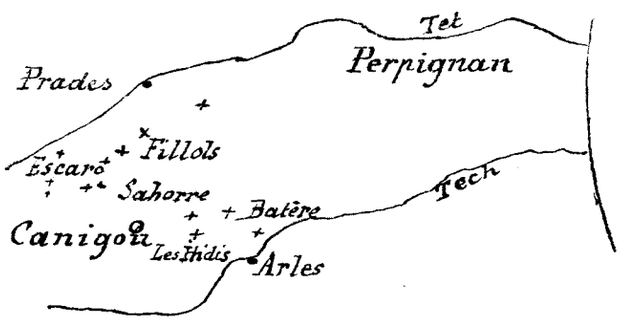


Fig. 60.

Carte des gisements des Pyrénées Orientales.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Il faut noter que dans beaucoup de ces gisements, on voit apparaître de la galène, ce qui prouve qu'il s'agit de minerais du type B.G.P.

Dans le Nord des Corbières, il y a une série de gisements du même genre (La Cannette), parfois exploités pour Argent; ce sont des chapeaux de fer ayant jusqu'à 100m d'épaisseur; à la base se trouve un peu d'argent qui disparaît ensuite progressivement quand on s'enfonce.

On peut citer aussi des gisements analogues dans les provinces de Murcie, d'Almeria, de Saragosse, de Jaen.

Styrie et Carinthie.— Ces gisements constituent la principale ressource de l'Autriche en minerais riches (nous signalerons plus tard les minerais phosphoreux et relativement pauvres de Bohême). Ils sont associés à des calcaires à crinoïdes du Dévonien inférieur et se substituent à eux sur une grande étendue et à un même niveau; aussi plusieurs géologues allemands ont-ils pensé qu'il s'agit de minerais d'origine sédimentaire. En réalité, ces minerais de fer sont au contact des schistes triasiques et des grauwackes; de plus la puissance de l'"Eizenerz", qui atteint 200m et qui paraît avoir 730 m à cause de l'inclinaison des couches, diminue rapidement et se réduit à presque rien sur leur prolongement.

On trouve d'abord les minerais oxydés superficiellement, connus depuis l'antiquité (Pline l'Ancien) et exploités pendant tout le Moyen-Age. Progressivement on est arrivé en profondeur à des minerais carbonatés, englobant les noyaux stériles où la teneur en fer diminue progressivement. Les parties les plus ferrugineuses suivent nettement les diaclases. Il y aurait donc eu imprégnation de calcaires dévoniens par des eaux chargées en fer et maintenues en pression sous un toit de schistes imperméables.

Ile d'Elbe.— Les gisements appartiennent au même type, mais avec des caractères un peu différents. Ils constituent pour l'Italie une grande ressource en Fer pur.

Il y a eu là des réactions métamorphiques très accentuées, avec un grand développement de silicates; les oxydes ont recristallisé (oligiste spéculaire). De ce fait, le gisement a été tellement transformé qu'il est impossible d'affirmer si les réactions de substitution sont antérieures au métamorphisme ou si elles se sont produites en même temps que lui et à sa faveur. Dans ce cas, on aurait là un passage au type Banat (voir p. 208).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La région a été soumise à des charriages intenses. En partant de l'Ouest, on trouve le grand massif du Mont Cayanne, avec des microgranites, ensuite une zône de roches vertes, puis des schistes lustrés et enfin, à l'Est, des terrains d'aspect primaire. Par suite de ces phénomènes de charriage, la région a du être abaissée à une grande profondeur et métamorphisée; le granite est d'ailleurs d'âge récent et sa venue est probablement liée aux phénomènes de métamorphisme.

Les minerais de fer sont localisés sur la côte Est constituant une longue traînée Nord-Sud. L'exploitation remonte à une très haute antiquité (Etrusques); mais il n'y a pas eu d'exploitation méthodique. On trouve en certains points des filons pyriteux parfaitement caractérisés et accompagnés de galène (donc du type B.G.P.), en d'autres des formations de contact au voisinage des calcaires et des schistes. Le minerai classique est de l'oligiste.

Plus au sud, il se produit un certain changement dans l'allure des minerais; au lieu d'oligiste en paillettes, on trouve des silicates dont l'exploitation a été commencée récemment et où l'on trouve des cristaux de magnétite et de protoxyde, de sorte que l'on pourrait les prendre au premier abord pour une roche à amphibole de la gangue. La teneur en fer est cependant assez forte.

Ces couches de silicates donnent l'impression d'avoir rongé le calcaire et il paraît y avoir eu un phénomène de substitution du fer au calcaire, avec formation ultérieure de silicates.

Gisements d'origine sédimentaire

Les minerais d'origine sédimentaire ont une allure assez différente suivant l'âge des terrains. Dans les terrains cristallophylliens, on a surtout de l'oligiste et de la magnétite cristallisés. Dans les terrains primaires, en même temps que l'oligiste cristallisée se développe de l'hématite rouge: elle devient prédominante dans les terrains secondaires; puis on a de l'hématite brune qui domine dans les terrains tertiaires.

Les minerais présentent souvent la forme oolithique; dans les gisements d'origine continentale (Berry) on a même des grains (pisolithes) gros comme des pois. La forme oolithique typique des minerais de Meurthe-et-Moselle se retrouve dans les minerais siluriens de Normandie et avec un faciès métamorphique dans celui de Diélette (Manche), et même dans les minerais du Lac Supérieur. Ce fait n'est d'ailleurs pas

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

général, mais il est très fréquent.

On relève dans tous les gisements de cette nature l'abondance des organismes et la présence de phosphore qui augmente avec la quantité d'organismes.

Dans les terrains plus anciens, ces fossiles deviennent moins visibles; on n'en retrouve plus des indices qu'au microscope (Silurien de Normandie, Archéen des Etats-Unis).

Ces faits prouvent que le dépôt du Fer n'est pas rigoureusement contemporain de la sédimentation; il y a eu remise en mouvement et pénétration dans les fossiles et dans les oolithes préexistants. Quelques auteurs ont pensé que cette pénétration était d'origine filonienne et très postérieure (failles nourricières). Cela semble bien difficile à admettre. Mais il y a peut-être eu un déplacement du Fer, presqu'immédiatement après le dépôt. Ce fer pourrait provenir du démantèlement et de la remise en mouvement des gisements de fer existant dans la région avoisinante; la pénétration se serait faite dans certains cas avant que les sédiments destinés à devenir ferrugineux aient eu le temps d'être recouverts par d'autres dépôts postérieurs. A l'époque actuelle on ne connait d'ailleurs absolument rien d'analogue; les minerais de lacs et de marais, que l'on a souvent comparés à eux, sont tout-à-fait différents.

Nous allons dans les descriptions suivantes rattacher chacun de ces gisements de fer à allure sédimentaire au niveau géologique où on le rencontre.

Ces minerais se trouvent dans des terrains d'âge quelconque appartenant à toute la série géologique; mais ils sont concentrés dans certaines phases qui sont en rapport constant avec une étape déterminée dans les phases de plissement. La concordance est la même concordance grossière que celle constatée pour les phosphates; c'est ainsi qu'ils sont très abondants au Silurien, après l'érection de la chaîne calédonienne. Ils disparaissent presque pendant le Dévonien, le Carbonifère, le Permien et le Trias. Ils sont à nouveau abondants à la base du Jurassique quand la chaîne hercynienne eut été arasée, et sont progressivement plus rares au Jurassique supérieur et au Crétacé. Ils réapparaissent après la phase de plissement alpin, au Miocène et au Pliocène. Il est probable que la destruction des chaînes montagneuses a mis en mouvement de grandes quantités de fer.

D'autre part, il y a certainement une concordance au moins grossière entre le voisinage (par exemple 25 à 50 kil.) de la côte marine et celle des dépôts de minerais de fer; leur origine continentale, plus ou moins lointaine, n'est donc pas douteuse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Dans ces gisements une coupe montre généralement une série de lentilles intercalées et de dimensions quelquefois très grandes (30 kil.) Le fait s'observe en Lorraine (couches non plissées) et en Suède (couches plissées).

I. *Terrains métamorphiques.* — Dans toute la Suède du Nord on rattache ces terrains à l'Archéen; au contraire, en Norwège, ces terrains à aspect analogue sont siluriens.

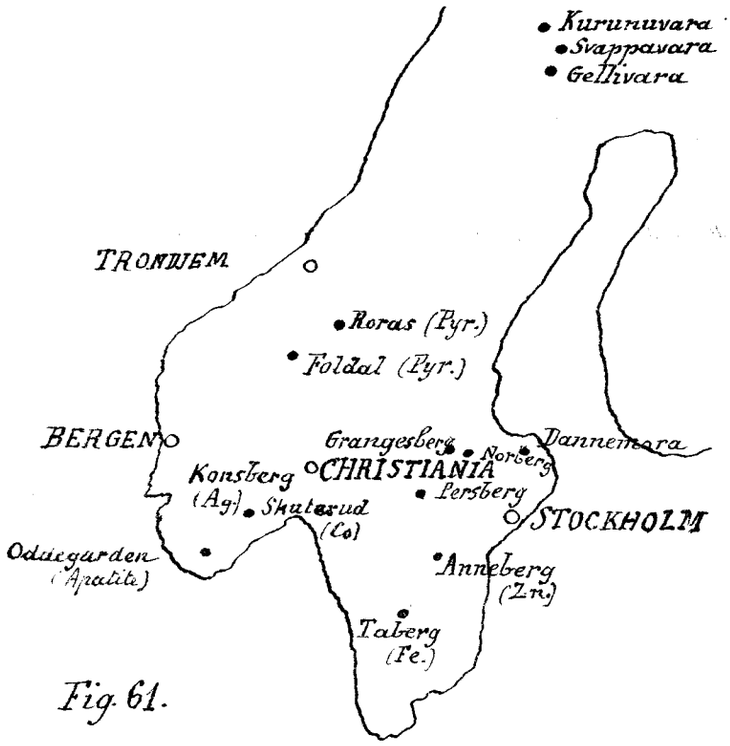


Fig. 61.

Carte des principaux gisements de Suède.
Les gîtes de Kirunuvara et de Svappaivara sont des gîtes de ségrégation (voir p. 205). Le gîte de Gellivara est intercalé dans l'Archéen. Les gîtes des environs de Stockholm (Dannemora, etc...) célèbres autrefois jouent un rôle insignifiant aujourd'hui sauf Grangesberg qui exploite activement un minerai phosphoreux mais exploité autrefois. On a marqué aussi ici quelques gisements d'autres matières.

Gisement de Gellivara. — Il est intercalé dans les hälleflints, dans des gneiss porphyroïdes, des gneiss à hornblende, etc... c'est-à-dire dans toutes les roches que présente la série cristallophyllienne, quand celle-ci a englobé des calcaires.

Les amas métallifères se trouvent le long des zônes de plissement. Leur superficie totale est de 181.000 m^2, comme les couches sont verticales chaque mètre d'approfondissement donne 600.000 t. par an.

Dans la constitution de ces minerais l'apatite joue un rôle considérable et on a l'impression d'une roche granitoïde à minerai de fer et apatite. On a installé une préparation mécanique et magnétique destinée à séparer l'apatite, susceptible d'être vendue comme phosphate. Il y a de plus, en certains points, de véritables filons de granulite avec apatite, exploités comme gisements de phosphate.

Le minerai est rarement une magnétite compacte, à grain fin, comme celui de l'acier; plus fréquemment, il y a des masses d'oligiste cristallin, en paillettes beaucoup plus fines (moins de 1 m/m) que celles de l'Ile d'Elbe; on constate que cet oligiste a été transformé en magnétite en certains points, particulièrement le long de filons de quartz (minerai

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

stellaire). Cette action s'explique par l'action d'hydrocarbures contenus dans ces filons de quartz ; cette action peut d'ailleurs être mise en évidence synthétiquement.

La teneur est de 60 à 70 % de Fer ; celle du Phosphore est très variable : toute la région Nord-Est très phosphoreuse ; la région Sud ne contient presque pas de phosphore.

On distingue dans les minerais 5 qualités :

Minerai à moins de 0,05 de Ph. destiné au Bessemer
" tenant de 0,05 à 0,1
" " de 0,1 à 0.8
" " de 0.8 à 1,5
" " au-dessus de 1,5 .

Ceux qui dépassent 0,8 sont destinés au Thomas . Les intermédiaires sont moins directement utilisables et doivent être mélangés.

Les couches peuvent être très minces ; en d'autres points elles ont 160^{m} × 100^{m} de superficie et forment des lentilles que l'on a suivies sur plus de 50 mètres en profondeur. Elles s'effilent ou s'arrêtent brusquement au contact d'un plan de cassure . On y a trouvé quelquefois un peu de Cuivre.

Gisement de Grangesberg (Suède). — C'est aujourd'hui le 3ème de la Suède : il est très analogue au précédent. Il contient des parties phosphoreuses destinées à l'exportation, d'autres parties très pures en phosphore, traitées par les usines suédoises.

Gisement de Mokta-el-Hadid (Algérie). — Fermée aujourd'hui, la mine est encaissée dans des terrains cristallophylliens sur l'âge desquels on a discuté ; ils sont peut-être même d'âge éocène. Dans ces terrains s'intercalent des lentilles de calcaire où se trouvent des amas de fer s'effilant et passant au calcaire encaissant.

Les couches présentent, comme à Dannemora, une inflexion où se trouvait une énorme lentille de fer que la Compagnie de Mokta exploitait en tranchée ; cette tranchée entamait la lentille obliquement de sorte que l'on avait exagéré son cubage ; au lieu de 30 millions de tonnes, on n'en a extrait que 6 à 7 millions.

Cette lentille se poursuivait vers l'Ouest par des bancs minces présentant en quelques points des renflements.

Les minerais de Mokta-el-Hadid sont des magnétites et des oligistes à 60-65 % de Fer.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisement de Krivoï-Rog (Russie). — Situé au voisinage du bassin houiller du Donetz, ce gisement est le centre de l'industrie métallurgique russe

Les minerais sont de la magnétite et de l'oligiste ; les uns sont très siliceux et de qualité inférieure ; car on a tous les passages de la magnétite à des quartzites à magnétite. On y a trouvé une série d'amas (jusqu'à 80 m. de puissance). Les minerais parfois sont si riches en silice qu'ils font penser aux jaspilites des États-Unis.

La production est environ de 4 millions de tonnes ; la réserve est d'à peu près 80 millions de tonnes ; il est possible d'ailleurs que les gisements se prolongent vers le Nord sous les terrains crétacés dans une région où l'on observe d'importantes anomalies magnétiques.

Gisements du Lac Supérieur. — Ils ont une importance extrême Les premiers gisements se trouvaient du côté de Marquette ; les plus importants sont aujourd'hui au N.W. du Lac.

Les minerais les plus anciens se trouvent dans le niveau dit Ontarien (minerais de Marquette) ; au-dessus, séparés par une discordance, se trouvent dans l'Algonkien les minerais du niveau supérieur de Marquette et tous ceux de l'Ouest. — Une nouvelle discordance les sépare du Kewenavien où se trouvent des minerais de Cuivre.

Les minerais ont des allures variables suivant les points ; ils ont passé par la forme sédimentaire ; mais comme les terrains encaissants, ils en ont perdu complètement l'aspect ; ils ont été eux aussi recristallisés et métamorphisés. On a eu ainsi des types de minerais analogues à ceux de la Suède ; mais ils ont subi en outre de très longues altérations continentales introduisant de la silice, éliminant la chaux, concentrant le fer en certains points. Les minerais ont ainsi pris la forme de *jaspilites*, minerais de fer alternant avec les jaspes. Ces phénomènes se sont prolongés jusqu'à nos jours ; car il y a certaines relations entre la teneur en silice et la surface actuelle du sol. Ces minerais, par suite d'altération, ont subi des modifications locales : quelques-uns sont réduits en poussière et peuvent être exploités par excavateurs. Par endroits on trouve aussi des concentrations d'argile.

Il est probable que, dès le Huronien et le Kewenavien, des eaux se sont infiltrées, produisant toutes ces modifications.

D'autres hypothèses ont été émises ; les minerais de fer et les jaspes ont été considérés comme d'origine éruptive ou comme déposés dans des océans, agités par des volcans

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

sous-marins ou encore comme ayant pénétré par venues postérieures dans des sédiments calcaires.

Autres gisements. Des phénomènes du même genre s'observent dans le *Brésil*. Les itabirites du Brésil, pas exploitées, sont très développées et n'ont été utilisées jusqu'ici que lorsqu'elles sont aurifères.

Au *Transvaal*, il y a des couches de minerais de fer, bien connues, dont on ne s'occupe pas encore.

Dans la *Rhodesia* et la *Katanga*, il existe d'énormes masses d'oxyde de fer, restant en saillie, et très analogues d'après les descriptions à celles de la Suède.

Dans l'*Inde* (présidence de Madras) on en connaît également.

Tous ces gisements constituent de précieuses réserves pour l'avenir.

II Silurien. — Les minerais ont généralement conservé leur aspect primitif; mais en certains points, ils ont été métamorphisés et ressemblent alors beaucoup à ceux de l'Archéen. On trouve ainsi des types de passage entre ces derniers et des minerais franchement sédimentaires.

Asturies. Il y a dans le Silurien de cette région d'énormes gisements de minerais de fer qui sont encore à peine exploités; car il faudrait construire 200 kil. de chemin de fer.

France. Les gisements siluriens français sont très importants.

Ceux de Maine-et-Loire, n'ont pas encore donné grand chose au point de vue industriel. Les niveaux de minerais de fer intercalés dans le Silurien, y sont généralement recristallisés et très siliceux.

Ces minerais se sont transformés à la surface et ont fourni des poches de minerais d'altération continentale du type Berry et des limonites ayant donné lieu à une série de petites exploitations, depuis l'époque préhistorique jusqu'à l'époque actuelle. Les scories en ont été recherchées dans ces deux dernières années.

Le bassin de *Normandie* est connu depuis longtemps par la mine de Saint-Remy. Depuis 1900, une campagne de recherches a montré l'existence de bandes synclinales de minerais de fer, pas encore reconnus parce qu'ils étaient à l'état de carbonates et de protoxydes. Quatre synclinaux principaux sont mis en exploitation dès à présent. A Saint-Remy, il y a une couche entièrement transformée en hématite (52%; 3m. 60 d'épaisseur). Plus loin le minerai se charge en chlorite. Le minerai primitif a du être de la sidérose; les oolithes calcaires ont du être progressivement transformées en minerai de fer.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La production a passé de 100.000 tonnes à 1 million de tonnes et plus.

Il en est résulté un grand développement du port de Caen.

Pays de Galles. On y connait de grands gisements dans le même niveau silurien.

Norvège. Certaines mines comme celle de Dunderlandsdal ou de Salangen se trouvent au-delà du cercle polaire ; mais situées sur le versant atlantique, elles sont exploitables grâce à la présence du Gulf-Stream qui adoucit le climat.

Les minerais forment dans le Silurien des bandes ayant une largeur de 3 à 10 m. jusqu'à 100 m. sur plusieurs kilomètres de longueur. Ils ont l'inconvénient d'être siliceux. Aussi la plupart des exploitations ont dû cesser. Il fallut organiser la séparation magnétique, puis un briquetage ; les résultats financiers ont été médiocres. Seule la plus septentrionale subsiste encore.

Bohême. Dans du Silurien à faciès nettement oolithique, on a suivi sur 15 kilomètres des minerais formés de Chamosite qui résulte de la transformation de sidérite.

Etats-Unis. Les minerais de Clinton sont une des grandes ressources des Etats-Unis. L'abondance des fossiles et des oolithes y est extraordinaire (Fossil-ore).

Dévonien et Carbonifère. — Les minerais s'y prolongent mais leur abondance s'y atténue progressivement.

Diélette, dans la Manche, est un petit massif ferrugineux en contact avec un massif granitique. On y trouve de l'oligiste et de la magnétite passant progressivement à des quartzites d'âge dévonien.

Des minerais de même âge se trouvent dans les *Ardennes* où ils n'ont jamais donné lieu à une industrie bien importante.

Ceux des *Asturies* paraissent plus intéressants.

Les minerais du Carbonifère ont un caractère géologique un peu différent. Les minerais de fer sont associés à la houille et se sont déposés, soit dans des cuvettes lacustres, soit dans la mer. Leur type est celui :

1°) de *nodules*, appelés improprement sphérosidérite. On les trouve dans tous les bassins houillers ; en France la plupart des concessions de houille possèdent en même temps une concession de fer, restée généralement inexploitée.

2°) des gisements en relation immédiate avec la houille et prenant un assez grand

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

développement (Blackband en Angleterre; Kohleneisenstein dans le bassin de la Ruhr; 150.000 t. en 1890; ces gisements allemands, abandonnés aujourd'hui, ne jouent plus actuellement de rôle industriel.)

Dans le Permien et le Trias, les minerais de fer disparaissent à peu près complètement. Lias. — Dans cet étage les minerais prennent de nouveau un très grand développement. On en connaît par exemple dans la Côte-d'Or et la Saône-et-Loire. Les gisements n'y ont plus guère qu'une importance historique.

A Thostes, (Côte d'Or) on a un minerai oolithique associé à une lumachelle et ayant subi un enrichissement superficiel en Fe (70%) Il y a eu de nombreuses exploitations anciennes.

A Mazenay (Saône-et-Loire), qui fut l'origine du Creusot, il y a une couche de minerai ayant 0,8 × 1 km. Le minerai est à gangue calcaire, d'excellente qualité, mais il est à peu près épuisé actuellement.

Dans le Charmouthien d'Angleterre (Cleveland), il y a des gisements très importants. La couche minéralisée a 2m 50 à 5 m. d'épaisseur et s'étend sur 750 km². Dans la zône altérée il y avait 65% de fer; en profondeur il y a 35%. Le cube des minerais à faible teneur est colossal; celui des minerais à forte teneur est minime.

Les gisements de Lorraine ont pris une grande importance. Ils se partagent entre la France et le Luxembourg.

Le centre le plus ancien se trouve près de Nancy (Pompey); plus au Nord se trouve Longwy (aciéries de Mont-Saint-Martin) puis Villerupt. Dans la partie intermédiaire, on a trouvé plus récemment le bassin de Briey.

Des minerais ont été exploités très anciennement dans cette région; mais c'étaient des poches de minerai sidérolithique dans des calcaires. On a également exploité les affleurements proprement dits où la teneur en Phosphore était réduite. Mais les minerais en place étaient trop phosphatés pour être exploitables jusque dans ces dernières années.

Les minerais sont tantôt à gangue siliceuse, tantôt à gangue calcaire. Ces derniers ont toujours été exploités, malgré leur faible teneur (20%) en Fer et leur notable proportion de Phosphore. Les minerais siliceux ont été longtemps difficilement exploitables sinon en mélange, par exemple avec des minerais du Luxembourg; on compte cependant pouvoir les exploiter sur place et leur cubage, pas escompté, fournira un appoint

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

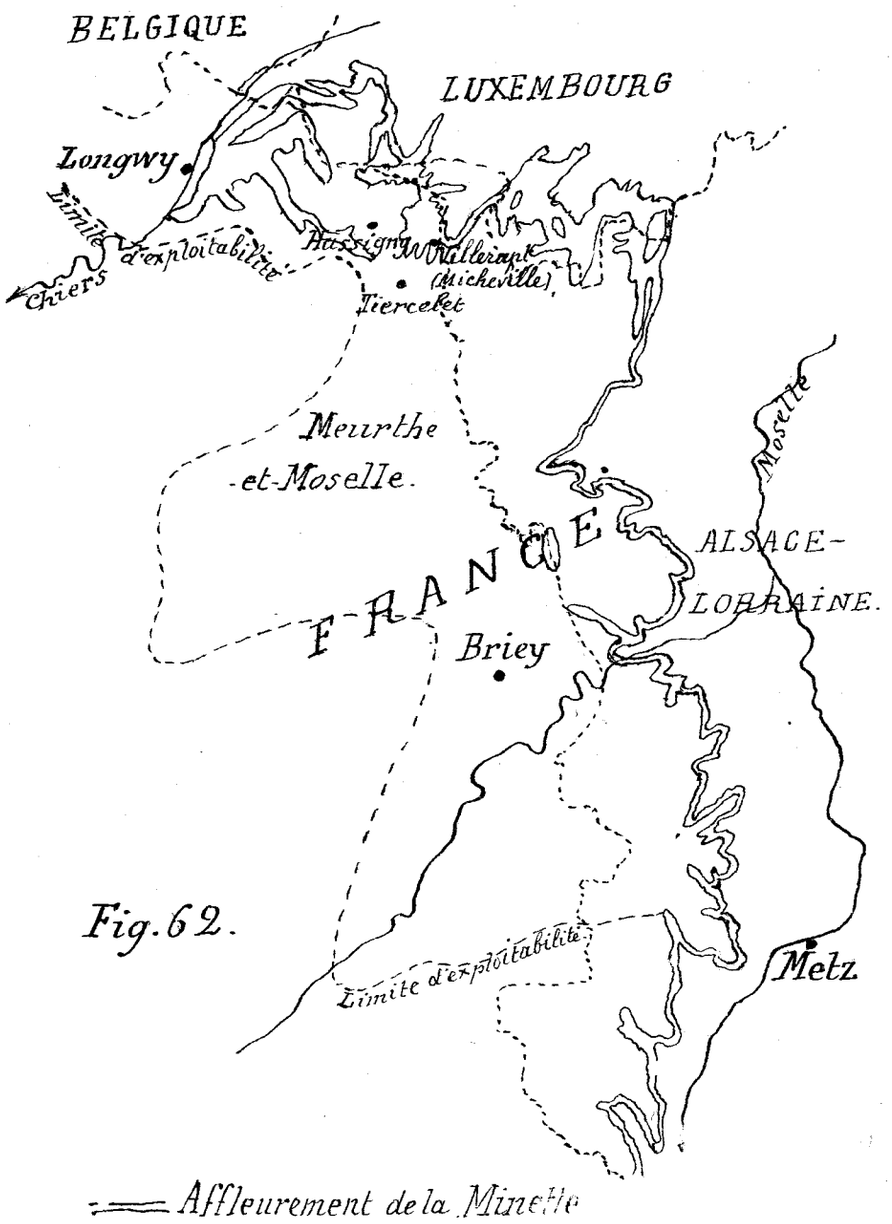


Fig. 62.

Carte des gisements de Fer de Lorraine

énorme aux concessions actuelles.

Tous ces minerais de Meurthe-et-Moselle (en moyenne 42% de Fe) ont été exploités à Longwy (3 millions de tonnes), à Hussigny (325.000 t.), Tiercelet (300.000 t.) etc.....

Le bassin de Briey a été trouvé en 1896 à la suite d'une campagne de sondages. Son exploitation a été longtemps arrêtée par l'abondance de l'eau; les difficultés sont aujourd'hui surmontées et de grosses usines s'outillent pour traiter chacune 2 millions de tonnes. La production totale a été 5 millions de tonnes. On peut dire que le manque de débouchés limite seul la production de cette région. La métallurgie, qui est le gros acheteur de ces minerais est, de son côté, arrêtée par le manque de combustibles.

La production a été en 1910 :

Meurthe-et-Moselle	11	millions de tonnes
Alsace-Lorraine	14	" "
Luxembourg	5	" "

Les bassins luxembourgeois et d'Alsace-Lorraine sont près de l'épuisement (environ 20 ans). En Meurthe-et-Moselle, il y a des réserves énormes (3 milliards de tonnes).

Cette région présente une série d'escarpements, constitués par des argiles toarciennes,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

surmontées de calcaires bajociens, formant un escarpement au-dessus des pentes. A peu près à la limite des deux étages se trouvent les minerais de fer surmontés par des marnes micacées. En affleurement on a une ocre jaune; en profondeur on trouve un calcaire oolithique (minette), plongeant de 1 à 2 % vers le centre du Bassin de Paris. Ces couches sont pratiquement horizontales au point de vue de l'exploitation. Elles sont recoupées par les vallées; on les retrouve par sondage dans l'intervalle.

Ce niveau de minerais sédimentaires a des épaisseurs variables : 5 à 6 mètres dans la région de Nancy (d'où la nécessité d'y faire des boisages importants); 5 à 6 mètres, mais plus généralement 2m à 3m,50 dans la région de Briey. Ces terrains sont découpés par des failles N.E._S.W. ayant 10 à 25 m. de rejet, et découpant le terrain en compartiments. Les courbes des teneurs montrent que le fer se concentre par taches. On a pensé que ces taches étaient en relation avec les failles; dans cette hypothèse, le fer serait arrivé après coup par l'intermédiaire des failles, dites failles nourricières; les failles étant nombreuses on a trouvé quelques coïncidences; mais d'une façon générale cette coïncidence n'existe pas et l'explication doit être cherchée ailleurs.

La teneur est variable; pour les environs de Nancy on peut donner les chiffres suivants:

	Bonne qualité	Minerai moyen
Fer	50	42
Alumine	7	6
Chaux	14	9
Silice	5 à 6	6
Perte au feu	20	"
Phosphore		1 à 1½

La teneur s'élève rarement au-dessus de 45%; les oolithes elles-mêmes dépassant rarement 50 %.

La proportion de phosphore est variable; les ventes se font d'après la qualité moyenne du bassin ou du groupe, sans faire de subdivisions comme en Suède.

Le minerai est formé d'une série de petits grains oolithiques; leur surface est luisante; la couleur varie du brun au rouge. Autour d'eux se trouve un ciment siliceux, argileux ou calcaire, modifiant la qualité du minerai et susceptible de prendre des couleurs variables.

D'après ces couleurs de la roche on a donné localement des noms aux couches, puis

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

on les a étendus à tout le Bassin sans que ce nom corresponde en beaucoup de points à la couleur réelle de la couche : on a distingué ainsi les couches grises (moyenne), verte, brune, rouge (supérieure), noire (inférieure).

D'ailleurs l'assimilation des divers niveaux est purement hypothétique ; il s'agit en réalité de lentilles chevauchant les unes sur les autres et d'âge légèrement différent. Ces minerais contiennent de très nombreux fossiles souvent agglomérés en lumachelles ; ils donnent à la formation un caractère littoral très net. D'autre part, il est certain qu'il y a eu des remises en mouvement et des concentrations du fer, mais la pénétration ferrugineuse principale paraît s'être faite presque immédiatement après le dépôt. Cette question reste d'ailleurs discutable et aucune théorie n'est encore complètement satisfaisante.

Il faut noter aussi la présence du Soufre, par exemple dans la couche verte.

Ces minerais sont le terme le plus important d'une formation que l'on trouve ailleurs.

Bajocien. — Dans le Bajocien du *Jura*, on trouve des oolithes ferrugineuses très fossilifères ; on les connaît aussi dans *l'Ardèche* où le minerai de Privas est parfois agatisé, c'est-à-dire qu'il a été silicifié postérieurement à sa formation ; le phénomène est comparable à celui qui a produit les jaspilites du Lac Supérieur.

Un peu au-dessus, dans le *Callovien*, existent quelques gisements ; ainsi celui de *la Voulte* (Ardèche) est formé de bancs ferrugineux, séparés par des marnes schisteuses. Le gisement de Chamoson (Valais, Suisse) n'a pas d'importance industrielle ; mais il a donné son nom à la Chamosite, silicate de fer et d'alumine.

Jurassique supérieur à Miocène. — Au-dessus, les niveaux ferrugineux disparaissent ou deviennent insignifiants. On n'en connaît pour ainsi dire pas, tout au moins de ce type, dans le Jurassique supérieur, le Crétacé, l'Eocène, le Miocène.

Pliocène. On ne retrouve guère de niveaux de minerais de fer que dans le Pliocène. Ainsi, à *Kertch* (Crimée), il y a un cube de plusieurs centaines de millions de tonnes ; mais les résultats de l'exploitation sont assez médiocres. On a là de véritables lumachelles de coquillages (*Cardium*) avec une forte proportion de phosphate à l'état de phosphure de fer ; on y voit bien la relation qui existe entre le nombre des organismes et la teneur en phosphore et même en fer ; tout au moins dans l'ensemble. Dans ce gisement, la série géologique commence par le Sarmatien et continue par le Pontien ; les couches ferrugineuses sont au-dessus ; leur épaisseur peut atteindre

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

de 4 à 6 m. on y trouve des pisolithes, analogues à ceux du Berry, ayant de 10 millimètres à 1/4 de millimètre. La composition des minerais est de 30 à 40% de Fe avec 1 1/2 de Phosphore; la teneur en silice oscille entre 15 et 20%; ces minerais sont fragiles, sableux; on doit les débourber, et on obtient alors des minerais en poussière, toujours soumis à une certaine dépréciation.

Mers actuelles. — Il ne s'y trouve aucun dépôt qui soit comparable aux formations des minerais de fer sédimentaires. Cependant on y connaît des produits glauconieux se développant un peu au-delà de la zône littorale à une profondeur ne dépassant pas 1800 mètres. On s'est demandé si cette glauconie ne serait pas l'origine des minerais de fer; cela ne paraît pas démontré.

Ces nodules glauconieux passent vers le large à des nodules manganésifères noyés dans l'argile rouge des grands fonds et ayant jusqu'à 5 et 10 centimètres; on y trouve un peu de cobalt.

Sédiments lacustres.

Ils n'ont pas d'importance pratique; on les a rapprochés parfois des dépôts ferrugineux sédimentaires, d'origine marine, avec lesquels ils n'ont aucune analogie.

D'ailleurs on connait dans les terrains géologiques des dépôts ferrugineux d'origine lacustre.

On en connait dans le Carbonifère.

Dans le Crétacé (Néocomien du Pays de Bray), il existe des minerais de cette origine, carbonatés en profondeur, oxydés en surface. Dans la *Haute-Marne*, le minerai de Vassy est également d'origine lacustre. Ces minerais ont eu autrefois une certaine importance industrielle. Actuellement des minerais de fer se produisent dans des marais tourbeux (lacs de Scandinavie, Silésie, Pologne, etc...) sous une nappe d'eau peu épaisse (1 m.) et sur un fond sableux. Les minerais peuvent se former sur 0m,50 d'épaisseur et se renouveler tous les trente ans. Ils sont dus à la fixation des sels de fer de tout le Bassin, dissous par les eaux et amenés dans la cuvette lacustre. Cette fixation se fait par l'intermédiaire des ferro-bactéries; il se produit une rouille ocreuse qui s'amasse dans le fond et peut se transformer en oolithes. La proportion de Phosphore est toujours notable.

Gisements d'altération continentale.

A propos de tous les gisements, on a vu qu'ils avaient subi des altérations au

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

voisinage de la surface.

Mais à côté de ces phénomènes locaux, il y a des gisements qui paraissent s'être constitués, sans qu'il ait existé de gisements antérieurs, par simple remaniement des terrains superficiels, qui, comme on le sait, contiennent toujours une certaine proportion de fer.

Ces phénomènes se sont produits dans les périodes d'altération continentale, pendant lesquelles les sels de fer des roches (en moyenne 5%) ont été remis en mouvement et concentrés.

Ces sortes de gisements ne sont concentrés qu'assez exceptionnellement parcequ'ils ont été souvent dispersés après leur formation. On les connait surtout dans le Tertiaire, (phase sidérolithique). Cependant ceux des époques antérieures n'ont pas tous disparu; on en connait quelques-uns.

Dans le Sinien (Ordovicien supérieur) de Chine, on a reconnu, entre l'Ordovicien et le Carbonifère, des intercalations de poches avec oolithes ferrugineuses analogues à celles du Berry.

On retrouve des phénomènes du même genre dans le *Jura franconien* (Bavière). Il y a vers 400-600 m. d'altitude des calcaires et des dolomies jurassiques recouverts par du Crétacé et du Tertiaire. On s'est aperçu que le Jurassique supérieur a été érodé avant le dépôt du Crétacé et présente un aspect analogue à celui du Karst et de Montpellier-le-Vieux.

Les poches et excavations qui s'y sont formées ont été remplies de minerais de fer, résultant d'une altération continentale analogue à celle qui s'est produite dans le Berry. Ces minerais occupent 700 kil. carrés; on y a fait plus de 400 sondages; on estime leur cubage à 1500 millions de tonnes. Cependant l'exploitation n'a pas commencé avec une grande activité. Ces minerais sont à faible teneur, très siliceux et probablement très irréguliers.

Berry.

Les minerais du Berry peuvent être considérés comme le type de ces formations.

Les calcaires jurassiques ont été perforés par des cavités innombrables, parfois très profondes, irrégulières, présentant quelquefois un aspect filonien; mais il s'agit en réalité de diaclases dans les calcaires, remplies ultérieurement.

Ces minerais ont été recouverts par des calcaires sannoisiens.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC



Fig. 63.

Position stratigraphique des argiles à minerai de fer du Berry.

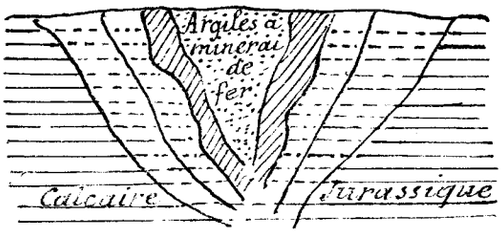


Fig. 64.

Coupe d'une poche d'argile à minerai de fer dans le calcaire jurassique.

Ce phénomène d'altération continentale peut être comparé à celui qui a produit les phosphorites du Quercy (p. 110), etc. Les minerais sont alumineux et forment de gros grains pisolitiques.

On retrouve des dépots analogues en Meurthe-et-Moselle, Loire-Inferieure Silésie, etc ...

Ce mode de formation de ces minerais doit être en rapport avec celui des latérites où il se produit de la même façon des concentrations de fer, d'alumine, de manganèse, de chrome.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Manganèse

Usages et Statistiques

L'industrie du Manganèse a eu un développement parallèle à celle du fer à cause du développement de ses emplois métallurgiques.

Le Manganèse servait autrefois à la préparation de l'Oxygène, du Chlore, (la consommation a diminué depuis les procédés de régénération du Chlore). On s'en servait aussi en verrerie. Le commerce du Manganèse a beaucoup varié. On exploitait pour la fabrication du Chlore et pour la verrerie une série de petits gisements en Angleterre.

Vers 1840, on découvrit les gites du Nassau (Allemagne). Les prix se maintinrent cependant assez élevés. On les calculait à partir d'une teneur étalon de 70%. Le minerai à 70% valait alors 200 francs la tonne.

Son prix a baissé ensuite jusqu'à 74 francs la tonne en 1865, par suite de la mise en valeur des mines de Huelva (Espagne).

Celles-ci se sont épuisées; en même temps, la métallurgie a commencé à employer le manganèse; il s'en est suivi une hausse qui a déterminé des recherches ayant abouti à la découverte des procédés de régénération du Chlore.

L'industrie a été enfin complètement transformée par la mise en valeur des minerais du Caucase. Ceux-ci ont eu une grosse production, interrompue au moment de la révolution russe et ils n'ont jamais été complètement repris (770.000 tonnes en 1906; 100.000 en 1910).

Les gisements de Nicopol (Russie) ont ensuite pris le dessus.

L'Inde a récemment pris la tête (1 million de tonnes); le Brésil (250.000 tonnes) joue également un rôle important.

Les gites d'Allemagne, d'Espagne, d'Autriche ne sont plus qu'accessoires.

La France a très peu de mines de manganèse; on peut citer celle du Lac Cabesses (Ariège), qui contient du carbonate de manganèse, mais qui est à peu près épuisée; actuellement, il n'y a plus guère que la mine de Romanèche (Saône-et-Loire) quelques exploitations de silicate dans les Pyrénées.

Un bon minerai moyen à 50% valait environ 70 francs la tonne en 1910.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Minerais

Les minerais de Manganèse sont comparables à ceux du fer en ce qu'ils sont oxydés; le sulfure de Manganèse très instable, n'existe pour ainsi dire que dans la nature; les principaux minerais sont donc les oxydes, les silicates et les carbonates.

Pendant longtemps, on n'a exploité que les oxydes: Pyrolusite (MnO_2), psilomélane (oxyde hydraté barytifère, 69 à 85 % de Mn_3O_4), quelquefois, mais plus rarement, de la hausmannite (Mn_3O_4), de la braunite (Mn_2O_3).

Actuellement, au fur et à mesure que l'on tend à descendre en profondeur, les silicates et les carbonates jouent un rôle plus important, par exemple dans l'Inde, à Huelva (Espagne) et dans les gites des Pyrénées.

Les gisements de Manganèse présentent le caractère général d'être très superficiels. Le manganèse se concentre progressivement à la surface, le phénomène est le même que pour le Baryum, la Silice, le Cobalt. Il y a souvent parallélisme entre l'accroissement de la teneur de ces divers métaux. La psilomélane associe le manganèse au baryum, l'asbolane au cobalt (par exemple 31 à 40 % de Mn, 19 à 32 % de Co).

Tous les gisements s'évanouissent en profondeur où l'on trouve des minerais de fer ou même des roches contenant des proportions minimes (½ %) de Manganèse. Ainsi à Huelva, où se trouve du manganèse sur les affleurements filoniens, il disparait vers 25 mètres. Il en est de même au Laurium etc.

Modes de gisements

On peut distinguer plusieurs types de gisements de manganèse:

Filons

A Romanèche, la bordure du plateau granitique a été mise en contact par faille avec les calcaires liasiques. Il y a d'une part un filon dans les calcaires liasiques qui s'éparpille en stockwerks en arrivant dans le granite, d'autre part des poches de remaniement au contact. L'exploitation a porté d'abord sur le filon, mais le manganèse a disparu vers 80 à 85 m. de profondeur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Il s'est d'ailleurs produit dans l'intérieur du filon des phénomènes incontestables de remises en mouvement, avec production de véritables stalactites de psilomélane, avec cristallisations de barytine.

Il est probable qu'en profondeur, ce filon prend l'allure d'un filon pyriteux légèrement arsenical et manganésifère.

On peut comparer à ce gisement un filon de l'Allier, aux Goultes Sommiers, où il existe, en surface, un bel affleurement de manganèse, avec veres diverses, au milieu d'un calcaire dévonien. C'est une grande poche se terminant par un filon. On a voulu par des travaux le recouper à 25 m. de profondeur. On n'a rien trouvé, si ce n'est quelques veines pyriteuses.

Gites de substitution dans les calcaires.

Le cas est assez analogue à celui du fer et le carbonate de manganèse se présente dans les mêmes conditions que le carbonate de fer.

Ce cas est réalisé, par exemple, à Las Cabesses. Les calcaires grottes du Dévonien sont recoupés par deux failles et il s'est produit un stockwerk grâce auquel les eaux, chargées de manganèse, ont imprégné les calcaires, laissant au milieu un noyau calcaire inaltéré : le schéma du gisement ressemble par suite à celui d'un polypier.

Gites argentifères.

Le Manganèse est souvent associé à de l'argent dans les produits d'altération superficielle.

Minerais stratifiés

Ils se trouvent dans des terrains divers. Leur origine est très discutable; on peut se demander si ces minerais sont contemporains ou postérieurs. Dans quelques cas, on les a comparés aux formations actuelles de grande profondeur, à cause de la présence de Radiolaires. Mais, il y a certainement eu des remises en mouvement postérieures. C'est par exemple le cas de l'Inde où des carbonates et silicates avec grenats, diallage, rhodonite (SiO_3Mn) forment des veines interstratifiées dans les terrains cristallophylliens. Ils sont remplacés en surface par des oxydes.

Au Brésil, les minerais de manganèse se trouvent dans des quartz ferrugineux ou dans des gneiss.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Le même type se retrouve à Saint-Marcel, Piémont, mais sans y avoir de grande importance industrielle. On y exploite des lentilles de minerai de manganèse dans des gneiss.

Dans le Silurien des Pyrénées, on connaît des couches silicatées et carbonatées à apparence stratiforme.

A Huelva (Espagne), des silicates et carbonates avec grenats, se trouvent dans des terrains carbonifères.

La plupart de ces gisements se trouvent dans des terrains métamorphiques de sorte qu'il est toujours possible d'envisager l'hypothèse d'intrusions postérieures.

Les gites du Caucase sont plus caractéristiques d'une formation sédimentaire ; car ils se trouvent intercalés dans l'Eocène, immédiatement au-dessus de la craie. Il y a là un dépôt de minerais oolithiques en bancs, contenant une assez forte teneur en phosphore.

Le même mode de gisement s'observe à Nikopol dans le Sud de la Russie ; ce sont des nodules de pyrolusite, plus ou moins gros et plus ou moins soudés les uns aux autres, au milieu de couches tertiaires (Sarmatien).

A l'époque actuelle, il se forme des minerais de manganèse de deux matières : — 1°) par concentration dans les grandes profondeurs des mers et aussi au voisinage de certaines côtes ;

2°) dans les lacs et marais.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Nickel.

Usages et Statistiques.

L'industrie de ce métal a pris un grand développement depuis 1885, à cause de son utilisation dans l'acier au nickel pour la fabrication des plaques de blindage et les constructions mécaniques; la teneur de ces aciers varie de 1 à 5% de nickel. Ils possèdent une certaine élasticité; mais ils ont l'inconvénient de se rompre au pliage.

On a récemment appliqué l'acier au nikel sur les rails des lignes de chemins de fer très chargés; il pourrait en résulter une demande très forte en Nickel.

D'autre part on introduit 5 à 25% de nickel dans des aciers ayant une forte résistance au choc (instruments scientifiques; artillerie).

De plus, on fabrique des objets en nickel ou on les recouvre d'une couche de nickel pour les préserver de l'altération.

Le Nickel entre dans la composition de certains alliages (maillechort: Cu, Zn, Ni) et de monnaies d'appoints.

Le Nickel a été longtemps rare et coûteux:

1863 . . . . . 60 fr. le kg.
1870 . . . . . 15 „
1874 . . . . . 40 „

Puis l'exploitation des mines de la Nouvelle-Calédonie a amené une baisse du Nickel:

1885 . . . . . 8 à 9 fr. le kg.

La concurrence du Canada l'a abaissé encore:

1890 . . . . . 5 fr. le kg.
1895 . . . . . 2 fr. 20 „

A la suite d'un accord entre les producteurs, le prix est remonté à 3 fr. 50 ou 5 fr.

La production du Nickel est fournie presqu'exclusivement par le Canada et la Nouvelle-Calédonie.

Le Canada fournit des minerais à 4 ½ % mais abondants (20.000 tonnes de Nickel environ par an).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La Nouvelle Calédonie, longtemps le seul producteur, ne produit plus que 8500 tonnes de métal. La Norwège produit environ 100 tonnes.

Minerais.

Ils ont été variables suivant les époques.

Longtemps on s'est servi d'arsénio. oulfures de nickel, cobaltifères.

Les minerais de Nouvelle Calédonie résultent de l'altération superficielle de silicates de nickel à 7 %.

Enfin, au Canada, on exploite des pyrrhotines nickélifères et cuprifères (teneur en nickel 3½ à 4 %).

Modes de gisement.

Le point de départ au point de vue géologique sont les *inclusions* dans les norites et les gabbros. Des *segrégations* se forment sur le bord des massifs.

Les principaux types de gisements sont :

1) Inclusions et altérations

2) Gites de Pyrrhotine

3) Minerais filoniens où l'on trouve du nickel avec proportion croissante de Cobalt.

Le minerai est associé à du Cobalt dans le type 1 et 3, au Cuivre dans le type 2.

Le nickel a des analogies chimiques avec le Fer, des analogies métallogéniques avec le Cuivre.

Inclusions et altérations.

Gisements de Nouvelle Calédonie. - Ils sont considérables, mais leur production est limitée par l'état du marché et la longueur du transport.

L'île très allongée semble avoir subi un premier mouvement d'âge primaire, puis des mouvements crétacés ayant séparé la Nouvelle Calédonie de la Nouvelle Zélande; à ce moment se seraient produits des charriages entraînant des serpentines avec nickel. Le même fait se trouve pour les gisements cuprifères du Monte Catini en Toscane et paraît offrir une sorte de généralité.

Les serpentines occupent 1/3 à 1/4 de l'île et contiennent partout

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

un peu de Nickel et de Cobalt. Elles ont été altérées superficiellement et ont donné des argiles rouges qui pénètrent plus ou moins dans le sous-sol en y formant des poches ou vasques. Le long de ces vasques, il s'est fait une concentration du minerai, due certainement à un phénomène de remise en mouvement secondaire. Les veines ainsi formées sont surtout constituées par de la Garnièrite verte. Mais il y a aussi des minerais bruns ou rouges à forte teneur.

Le Cobalt s'est concentré particulièrement dans l'argile sous forme de boules noires d'asbolite qu'on recueille par triage. On y trouve aussi des nodules de fer chromé (voir p. 190). Les trois substances sont exploitées simultanément.

Ces exploitations donnent des minerais qui doivent tenir 6 à 7% de Nickel après dessication; comme on les livre humides, la teneur est en réalité de 5%.

Cette teneur est considérable; mais les frais de transport sont très élevés: 15 à 50 fr. par tonne jusqu'à Nouméa et environ 55 fr. de Nouméa en Europe. Aussi a-t-on commencé à traiter les minerais sur place pour exporter des mattes à 60%.

Des formations analogues géologiquement, mais où l'on n'a pas encore signalé le Nickel exploitable, se retrouvent en Nouvelle-Zélande et dans beaucoup des îles situées entre la Nouvelle-Calédonie et les Îles de la Sonde.

Pyrrhotines du Canada.

Elles se trouvent dans le district de Sudbury (Ontario) qui a pris récemment un grand développement.

Les minerais y ont comme point de départ une ségrégation à partir de norites.

Le Nickel est associé à du cuivre. En général la proportion de Cobalt est faible, mais à une distance peu considérable se trouve le principal gisement de Cobalt et d'Argent du monde (District de Cobalt).

La formation de Sudbury se trouve dans une grande cuvette (50 x 24 km) à fond de gneiss où s'intercale avec une allure presque stratifiée une norite métallifère passant à un gabbro pyroxénique. Au milieu de cette norite se trouvent des minerais disséminés; ils sont parfois en grains comme en Nouvelle-Calédonie; mais parfois les minerais de Nickel prennent un grand développement et on voit la pyrrhotine mouler

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

tous les silicates de la roche. La teneur est variable : tantôt 1 de Nickel pour 2 de Cuivre, tantôt 3 de Nickel pour 1 de Cuivre. Il y a quelquefois plus de Cuivre que de Nickel mais en général le Nickel domine. Enfin il faut noter la présence de Platine disséminé : quelques mattes contiennent 14 gr. de Platine par tonne.

L'exploitation a commencé en 1889 ; grâce à la situation du gisement sur la grande ligne de chemin de fer transcontinentale canadienne, les conditions d'exploitation sont très favorables.

Ce type se retrouve en Scandinavie où l'on a exploité des gisements de pyrrhotine nickelifère, associée à des gabbros et où l'on a pu étudier à fond les phénomènes de ségrégations magmatiques des gabbros. Le fer chromé n'apparaît pas dans ces gisements ; il a dû rester dans la partie centrale du massif de gabbro.

On connaît des gisements analogues dans la Haute Italie (Piémont), à Varallo, à Scopello, etc... Ils sont inexploités.

Gites filoniens.

Ils ont été longtemps la seule source du Nickel. Les minerais y forment des enduits roses ou verts, même quand la teneur est faible.

Filons plombo-zincifères. — Les filons sont un terme de groupement plombo-zincifère avec un peu de Cuivre. La teneur en Cobalt tend à y devenir importante, ainsi que celle de l'Argent.

Il se produit dans certains cas des enrichissements sur l'intersection des filons. On rencontre par exemple des types caractéristiques de fallbandes (bandes heureuses voir p. 26), bandes broyées avec pyritisation des minerais et sulfures de toute nature. Le Nickel s'y trouve dans toute la masse, mais n'est exploité que sur les fissures, comme s'il y avait été concentré par l'action d'eaux de circulation (profondes ou superficielles suivant les théories).

Le principal gisement de ce genre est celui de *Schladming* en Styrie ; on y trouve jusqu'à 6 zones d'enrichissement, 6 fallbandes qu'on appelle ici des brande. Leur largeur varie de quelques centimètres à 30 mètres ; elles sont remplies par de la pyrite, de la pyrrhotine, du mispickel, du Cuivre gris. De petits filons transversaux de calcite les recoupent. Près des fallbandes se trouvent des poches de quelques mètres où le Nickel et le Cobalt dominent et où le Cuivre ne joue qu'un rôle accessoire.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On retrouve des gisements analogues dans le Valais, au Val d'Anniviers, à haute altitude, difficilement exploitables, avec des séries d'affleurements nickelifères formant des falbbandes enrichies à l'intersection de fractures transversales.

Dans le Mansfeld, où il y a de grands gisements de Cuivre à allure sédimentaire, il existe quelquefois d'assez fortes proportions de Nickel dans de petites cassures qui recoupent la couche cuprifère.

Associations de Ni, Co, Cu, avec gangue de sidérose. — Cet autre type se trouve en plusieurs points.

En Hongrie, à *Dobsina* ou Dobschau, on a exploité une série de filons de Cobalt qui se croisent en profondeur, avec gangue de sidérose, calcite, ankérite, et avec tourmaline. Ces filons sont enrichis à l'intersection de cassures transversales.

En France, il y a toute une série de faisceaux de filons de Cu, Ni, Fe, Or, etc.. à valeur industrielle médiocre à cause de leur éparpillement. La mine de Chalanches (Isère) a été exploitée activement au XVIII^{e} siècle et a été reprise au XIX^{e}; l'association du Cobalt et de l'Argent a permis l'exploitation.

De même dans les Pyrénées, sur le versant espagnol à Gistain, on a exploité du Nickel, avec Co, Zn, Pb.

D'ailleurs ce groupe de gisements passe progressivement à des filons où domine le Cobalt ou l'Argent.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Cobalt.

Usages et Statistiques

Il est associé au Nickel dans la plupart de ses gisements. Il a peu d'usages parce qu'il est trop cher. D'ailleurs, il est plus fusible et plus altérable que le Nickel, ce qui présente des inconvénients.

On fait quelques alliages de Cuivre et de Cobalt pour coussinets; ils sont durs et difficiles à travailler.

La plus grande application du Cobalt est la fabrication du bleu de Cobalt, du bleu Thénard et du vert de Rinmann.

La production mondiale du Cobalt n'est guère que de 250 à 300 tonnes d'oxyde. En beaucoup de cas ce métal n'est en réalité qu'un sous-produit.

Le Cobalt a été longtemps fourni par les gisements filoniens de Saxe.

Il a beaucoup baissé de prix, quand on l'a découvert en Nouvelle-Calédonie, dont la production aurait suffi à la consommation et qui pouvait le fournir en Europe à 20 fr. le kilogr. (environ 100 tonnes; actuellement 50 tonnes de métal).

Depuis 1907, les gisements du Canada, (district de Cobalt) où l'on exploite à la fois de l'argent et du Cobalt et où le Cobalt n'est qu'un sous-produit, concurrencient activement la Nouvelle-Calédonie et ont acquis un véritable monopole.

Géologie

Malgré les analogies générales dans le mode de gisement, le Cobalt tend à entrer dans des groupements acides, ce qui le différencie du Nickel.

On voit ainsi apparaître des gisements où le Nickel disparaît de plus en plus, et où apparaissent des minéraux du groupe stannifère (Mo, Ur et même Sn).

Quelque chose d'analogue existe pour le Chrome, qui généralement se trouve en milieu basique, mais dont les gisements de crocoïse se rencontrent dans des roches acides.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Inclusions et ségrégations. - Ce sont les mêmes gisements que ceux du Nickel : tels sont en particulier ceux de Nouvelle. Calédonie.

Filons

Le Cobalt se trouve dans la plupart des filons nickelifères.

Mais il exciote en outre des filons quartzeux où on trouve le Cobalt associé avec le Cu et avec des minerais du groupe stannifère. On peut citer les gisements de Suède, du Caucase, (Dachkessan près de la mine de Cuivre de Kédabek). Il y a là un accident local de filons, appartenant au groupe sulfuré avec gangue quartzeuse.

A *Balmoral* (Transvaal), on connait des gisements de Cobalt avec molybdène. La tourmaline y apparaît, englobant des sulfures de Cobalt; il y a des indices de fumerolles fluorées et boriquées en relation avec des roches acides.

Un gisement assez intéressant est celui de *Schneeberg* (Saxe) qui est en rapport avec un granite où on trouve du Bismuth, de l'Uranium, de la Tourmaline.

District de Cobalt, Canada.

Il y a là un système curieux d'innombrables craquelures, verticales, englobées, soit dans des schistes et conglomérats huroniens, soit dans la diabase. Tout le pays a été poli et aplani par les glaces. On a trouvé ainsi des filons d'Argent natif qu'on n'a eu qu'à suivre, puis à déblayer. On y a trouvé aussi : Co, Bi, Cu dans une gangue souvent calcique.

Altérations superficielles.

On trouve ailleurs pour le Cobalt des formes d'altérations superficielles analogues à celles de la Garniérite pour le Nickel : Ce sont des oxydes comme l'asbolane, à la fois manganésifère et Cobaltifère.

Dans le Pays de Galles à Voel Hiraddog, on a trouvé dans les calcaires une poche de remplissage superficiel avec des noyaux cobaltifères disséminés, qui ont été exploités (80 m de hauteur; 2 à 3 m. de largeur).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Cuivre

Usages et Statistiques

Usages

Ce métal a des applications considérables. Ses usages sont importants et anciens ; il a été longtemps le métal par excellence.

Depuis le développement du fer, l'utilisation du cuivre a changé un peu d'orientation ; il sert surtout en électricité et dans la marine.

Sa consommation augmente rapidement et son marché donne lieu à d'importantes spéculations.

Le cuivre rouge s'utilise en plaques, lingots, tubes, planches, fils. Parmi les alliages les plus importants on peut citer le *laiton* ou cuivre jaune (Cu + Zn avec un peu de Pb et Sn), le *bronze* (Cu + Sn), le cuivre blanc ou *tombac* (Cu, Zn + As), le maillechort ou *argentan* (Cu + Zn + Ni).

Parmi les sels de Cuivre, le *Sulfate de Cuivre* a actuellement de grandes applications pour les maladies de la vigne (bouillie bordelaise, etc...), pour le chaulage des grains, le traitement des bois. D'autres sels servent comme matières colorantes : *vert de Brunswick*) oxychlorure de cuivre), *vert de Scheele* (arsenite de cuivre), *vert de Schweinfurt* (arsenite et acétate de cuivre), *vert minéral* (carbonate bibasique) et la *cendre bleue* (carbonate sesquibasique).

De plus, la *malachite* (carbonate bibasique) est employée comme pierre d'ornement.

Statistiques.

Sa consommation mondiale a augmenté d'une façon très rapide : 20 à 25000 tonnes au commencement du siècle, 1 million de tonnes actuellement ; elle a doublé en particulier de 1900 à 1910 (496.000 tonnes en 1900 ; 900.000 tonnes en 1910).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Cet accroissement correspond à un grand développement des applications électriques; il a eu des contre coups sur la production et sur les spéculations.

La production a longtemps été réglementée par l'Angleterre et les Etats-Unis; ces derniers deviennent prépondérants car ils fournissent plus de la moitié de la production. Les autres pays producteurs sont très divisés.

On a essayé d'attirer le marché du Cuivre en France; il y a eu de ce fait des spéculations malheureuses qui ont fait doubler momentanément le prix du Cuivre, pour retomber ensuite au point de départ. Des opérations analogues ont été reprises récemment et il existe actuellement un marché du Cuivre, assez important, en France et en Allemagne.

Le prix du Cuivre varie du simple au double : suivant les cours, un certain nombre de mines ouvrent ou ferment, agissant ainsi pour ramener le prix du Cuivre à un taux normal.

Les chiffres actuels de production par pays, étaient en 1911 :

Etats-Unis	500.000 tonnes	(½)
Espagne et Portugal (Groupe de Rio Tinto)	54.900 "	(1/10)
Japon	46.000 "	
Australie	42.500 "	
Chili	37.400 "	
Mexique	55.000 "	
Canada	25.400 "	
Pérou	28.500 "	
Allemagne	25.700 "	
Russie	26.000 "	
Norvège	10.600 "	
Cap de Bonne Espérance	18.500 "	

Le total de la production en 1911 a été d'environ 900.000 tonnes valant 1 milliard 400 millions de francs.

Les principales mines sont :

Anaconda	37.000 tonnes
Calumet and Hecla (Lac Supérieur)	37.000 "
Rio Tinto (Espagne)	35.500 "
Boston and Montana	32.400 "

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Copper Queen (Arizona) . . . . 30.000 tonnes
Utah Copper . . . . . 23.200 "
North Butte (Montana) . . . . . 18.000 "
Manofeld (Allemagne) . . . . . 17.500 "

Aux Etats-Unis les principaux groupes producteurs se trouvent dans l'Arizona et le Montana, puis au Lac supérieur. L'Utah et le Nevada, mis en valeur vers 1870-1880, puis considérés comme épuisés, sont repris actuellement et prennent un grand développement.

Le groupe principal européen est l'Espagne, avec les mines de Rio-Tinto, Tharsis, San Domingo

Le Japon a comme principaux centres Ashio et Besshi.

Le Chili a détenu le maximum de la production mondiale au 18e siècle, puis il fut considéré comme épuisé. On remet de plus en plus en valeur les minerais qu'il renferme encore et qu'on considérait jadis comme pauvres.

Le Boléo en Basse-Californie fournit 14000 tonnes de Cuivre.

Il faut citer encore les mines du Manofeld (Allemagne) et de Boundary (Canada).

En dehors de ces groupes, il y a peu de cuivre, exploité ailleurs. En Europe, il y a eu d'anciennes mines en Cornouailles, quelques mines en Toscane (Italie), un peu de cuivre dans l'Oural et dans le Caucase. Il n'y a pour ainsi dire rien en France ni même dans ses colonies. (1)

Prix du Cuivre.

1800 . . . . . 3900 fr. la tonne
1840 . . . . . 2100 "
1860 . . . . . 2700 "
1886 . . . . . 1000 "

A ce moment eut lieu la spéculation des métaux : 2140 fr.
A la suite du krach : 1350 fr.

(1) Sauf au Congo.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

1894.....	950 fr.	la tonne
1900.....	1880	"
1902.....	1140	"
1907.....	2200	"
1910.....	1350	"
1912.....	1600	"

Il oscille donc facilement du simple au double sans raison apparente.

Géologie

Principaux minerais

La proportion dans laquelle les minerais de cuivre proprement dits interviennent, diminue progressivement. La majeure partie du Cuivre est fournie par des pyrites de fer cuivreuses où le Cuivre n'apparait pas (ou à peine), mais où il y en a 1½ à 3½ %. A côté d'elles, il y a les minerais de Cuivre proprement dits, dus aux phénomènes de cémentation et disparaissant en profondeur. Il y a souvent au-dessus des affleurements une zône riche (sulfoarséniures et sulfoantimoniures de Cuivre) puis des mélanges avec des pyrites de fer (7 à 8 %), enfin les pyrites de fer cuivreuses. Ces minerais riches sont la *chalcopyrite* ($Cu\,Fe\,S_2$, avec 34 % de Cuivre), l'érubescite ($3\,Cu_2S, Fe_2S_3$ à 55 % de Cuivre), la *chalcosine* (Cu_2S à 80 % de Cuivre), enfin les cuivres gris ou fahlerz, tenant de 15 à 48 % de Cuivre ; avec de l'As, Sb, Fe et un peu Ag ; la plupart sont surtout antimoniaux (Tamaraite, Freibergite), les autres arsénieux (Tennantite).

Enfin le Cuivre natif se présente dans des conditions spéciales ; c'est généralement un produit d'altération superficielle et il disparaît rapidement, sauf au Lac Supérieur où il se maintient jusques aux profondeurs extrêmes.

Enfin les carbonates (malachite, azurite) les oxydes (cuprites), les arséniates vanadanates, phosphates, n'apparaissent qu'en affleurement

Rôle métallogénique.

Le Cuivre forme un groupe intermédiaire entre les précédents (groupe de l'Etain) et les suivants (groupe du Plomb).

Il est associé au type stannifère quand les gisements d'Etain prennent un

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

caractère filonien bien accentué; les autres sulfures s'y développent alors progressivement.

Il est associé au plomb, zinc dans le groupe B.G.P. La chalcopyrite y apparaît en même temps que la pyrite de fer et y est parfois associée à du mercure, l'un des métaux les plus superficiels.

Mais il peut être aussi associé à des métaux très profonds, comme le Platine, quand il est dû à des ségrégations de roches basiques.

Le Cuivre a donc un rôle intermédiaire qui accuse la relation du Cuivre avec les roches éruptives, relation qui s'atténue avec les métaux suivants.

Le nombre des gisements où le Cuivre est intimement lié à la roche encaissante est énorme.

I - Gisements d'inclusions.

On rencontre les inclusions dans deux groupes de roches.

1° *en roches acides*. On a surtout des cas minéralogiques, de véritables pegmatites ou granites à tourmaline, des roches à aegyrine cuprifères, des microgranites, etc. où on trouve de la chalcopyrite disséminée et ayant cristallisé avec de la tourmaline et de la fluorine.

2° *en roches basiques*. Il y a quelques cas de gisements ayant un intérêt industriel. Dans une foule de régions: Queensland, Tien-Chan, Madagascar, steppe Kirghise, Afrique australe, on trouve des séries de roches (porphyrites, mélaphyres, andésites, basaltes) où on observe des amygdales renfermant du Cuivre associé à des zéolites.

Mais le type le plus net est réalisé dans les gisements du Lac Supérieur qu'on doit d'ailleurs mettre à part. - Dans tous ces cas, on se rend compte que le Cuivre tel qu'il se présente est dû à une arrivée postérieure; mais on a aussi l'impression, parfois la certitude, que ce cuivre est dû à la sécrétion latérale et provient du Cuivre, disséminé à l'état d'inclusions dans toute la roche avoisinante et remaniée par les eaux de circulation.

On a aussi exploité du Cuivre natif, près de Bourgas (Bulgarie); en pulvérisant la roche, on voit en sortir de petites boules de Cuivre.

II - Gites de ségrégation.

Il faut noter d'abord l'existence du Cuivre dans les ségrégations nickelifères:

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

par exemple : Canada (norites avec grands amas de pyrrhotine contenant du Nickel et du Cuivre).

Dans certaines roches le Nickel n'apparait pas. Tels sont les gîtes de Toscane (Monte-Catini) aujourd'hui fermés, mais autrefois très célèbres. Dans ses parties hautes, cette mine a donné des minerais très riches : érubescite, etc... La teneur était de 20 à 25%. Ces minerais de cémentation ont disparu en profondeur.

Le gisement se trouve dans des diabases. On s'est aperçu que les diabases et les serpentines n'ont pas de racines et se sont introduites dans des marnes et des

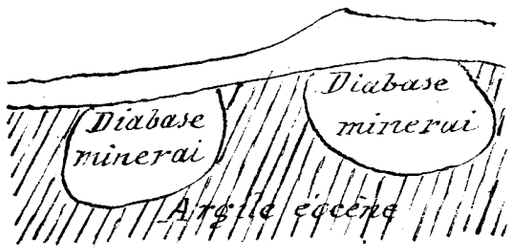


Fig. 65.

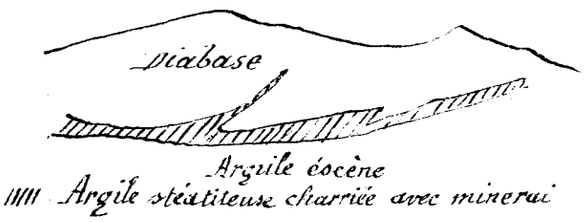


Fig. 66.

Coupes schématiques du Mont-Catini.

schistes, probablement grâce à des phénomènes de charriages.

Le phénomène paraît être assez général dans des serpentines situées à la base des nappes de charriage qui se montrent souvent nickelifères et cuprifères.

Il est probable que les diabases contenaient primitivement des pyrites cuivreuses. Au moment du charriage, celles-ci se sont disloquées en blocs, plus ou moins isolés qui ont subi des altérations postérieures, les ayant enrichies et transformées en chalcosine, érubescite, chalcopyrite, etc... et ayant rassemblé le cuivre à la périphérie. Il y a de plus des veines de pénétration superficielle (fig. 66) où la transformation est complète et où on a alors des minerais extrêmement riches.

Ce type de Monte-Catini a été recherché ailleurs, par exemple à Ponte alle Lecchia (Corse), aujourd'hui inexploité, en Ligurie, etc...

Gisements d'imprégnations diffuses de profondeur.

On sait qu'ils sont dûs à des phénomènes de profondeur qui font pénétrer le minerai soit feuillet par feuillet dans des schistes, soit en amas. On les trouve à l'état de pyrites plus ou moins cuivreuses, dans des terrains qui sont généralement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

métamorphiques ; mais on en connaît dans des terrains qui ne le sont pas.

a) Amas dans des terrains métamorphiques. — Le type s'en trouve surtout en Scandinavie. Les mines, en voie d'épuisement, ont eu un grand rôle autrefois : on a tantôt des pyrites de fer, tantôt des pyrites cuivreuses (jusqu'à 4% de Cuivre) avec tous les intermédiaires.

La région où ils se trouvent est une plateforme ancienne ayant subi un métamorphisme profond et où les roches sont des talcschistes, des leptynites, des micaschistes, etc... Les minerais s'y trouvent en lentilles, amas, etc...

On a quelquefois une imprégnation feuillet par feuillet donnant une série de veines ayant l'apparence de filons-couches, ou même de couches interstratifiées tellement qu'on s'est même demandé parfois si ces minerais n'étaient pas contemporains du dépôt.

On les trouve, par exemple, à *Röros* (Norwège) mine constituée par une série de petits gisements intercalés dans les schistes micacés et les chloritoschistes. Le contact d'une roche dure quelconque a produit la localisation du minerai avec des imprégnations en filonnets à la base.

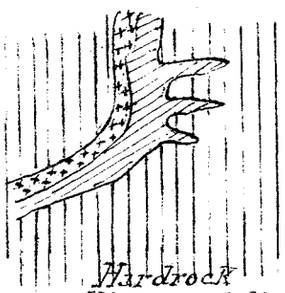


Fig. 67.

Coupe théorique d'un amas de pyrite cuivreuse au contact d'une roche dure à Röros.

Il en résulte des minerais qui ont, dans l'ensemble, une teneur assez faible à cause du mélange avec les schistes. Après triage, on avait cependant autrefois jusqu'à 5% de Cuivre, à cause de la présence de quelques noyaux d'érubescite et de chalcopyrite dûs à des phénomènes de cémentation superficielle.

A *Foldal*, (Norwège), on a une série d'amas pyriteux se succédant sur une longueur de 1 Km. environ en passant d'une couche à l'autre.

A *Vigsnaes* (Norwège), on trouve un grand amas de pyrites se terminant en profondeur par une série de pointes qui finissent par disparaître.

On trouve en Norwège un autre type voisin : amas proprement dit. On l'a exploité en particulier à *Fahlun*. Les débris de schistes y étaient beaucoup moins nombreux. La pyrite était un peu aurifère. La teneur en or était en relation avec la présence d'un sulfosséléniure de bismuth, formant une sorte de tricotis à la surface.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

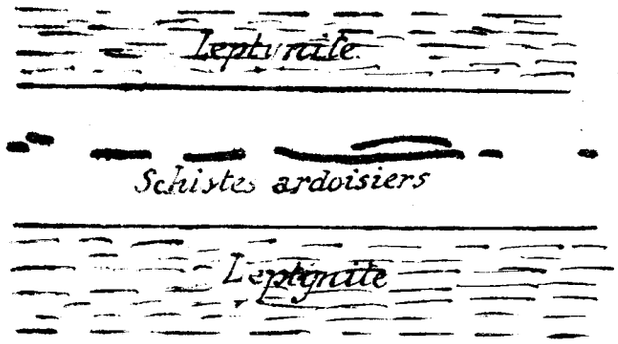


Fig. 68

Plan du gîte de Foldal.

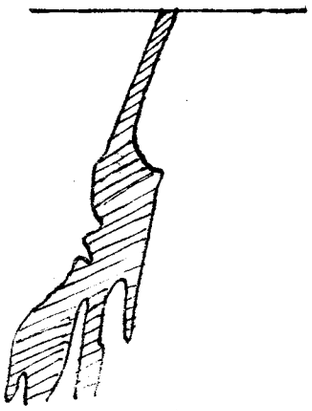


Fig. 69.

Coupe de l'amas de pyrite cuivreuse de Vigsnaes.

Enfin les falhbandes n'ont pas d'intérêt industriel, mais elles entrent dans la composition d'autres gisements. Ce sont des zônes de laminage, suivant lesquelles il s'est produit un broyage: il s'est constitué ainsi un chemin facile pour les eaux; elles ont amené de la pyrite qui a cimenté la zône de broyage.

On connait des exemples de ces divers types au Canada, en Sibérie, en Afrique australe, au Brésil.

b) Terrains non affectés par le métamorphisme. — Les régions où ce cas est réalisé sont moins nombreuses que les précédentes. Des amas de minerais intercalés sous forme d'énormes boules dans des terrains sédimentaires, fossilifères; l'aspect est le même en grand que celui des petites concrétions de pyrite.

On a quelquefois voulu les considérer comme dus à des phénomènes sédimentaires. Cette hypothèse est insoutenable, étant donné leurs dimensions, leur homogénéité, etc... Pendant la sédimentation il se serait forcément intercalé quelques éléments terrigènes régulièrement stratifiés dont on ne trouve pas trace.

Cependant la teneur en Cuivre est un peu variable. Dans les gisements en amas, la teneur en Cuivre diminue vers la profondeur et augmente vers le contact avec les terrains encaissants; celà est probablement dû à des phénomènes superficiels de cémentation.

A *Rio-Tinto* (Sud de l'Espagne) il y a d'énormes gisements de ce type, constituant l'une des plus grandes mines du monde, exploitée par les Phéniciens et les Romains, réexploitée au XV^e^ siècle, abandonnée au moment de la découverte de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

l'Amérique ; reprise vers 1850, elle a pris un développement considérable.

Il y a là tout un groupe à cheval sur le Portugal (San Domingos) et la province de Séville en Espagne (Tharsis, Rio-Tinto, La Poderosa). Il se trouve

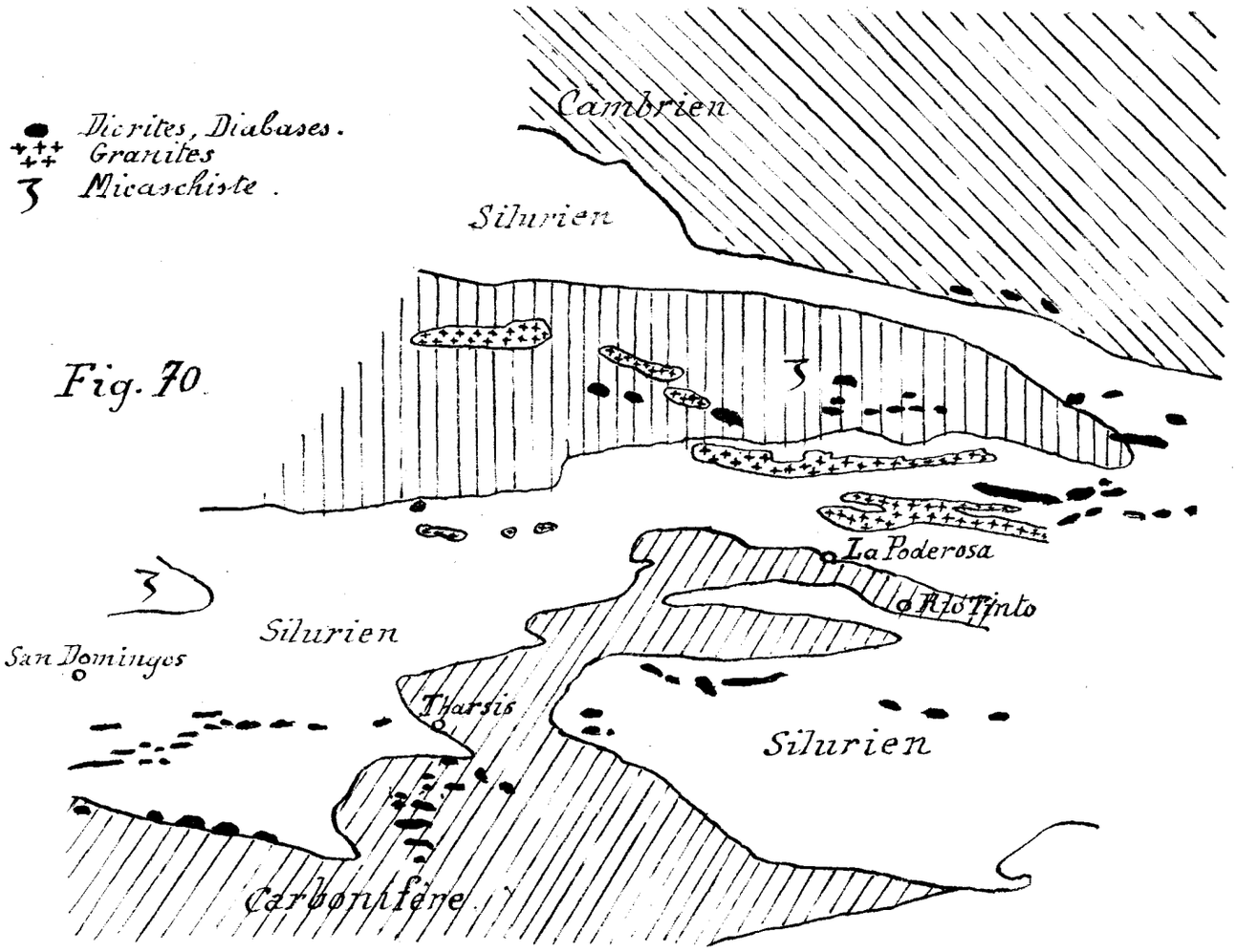


Fig. 70

Carte géologique de la région des gisements cuprifères de San-Domingos, Rio Tinto, etc.....

dans des terrains qui comprennent toute la série paléozoïque jusqu'au Carbonifère inclus et qui ont été plissés à l'époque hercynienne ; il existe une série d'alignements de roches interstratifiées : microgranulites présentant tous les types de transition aux porphyres pétrosiliceux et diabases à structure ophitique. Les minerais se trouvent dans la même zône que ces roches et souvent à leur contact. Aussi peut-on penser qu'ils sont connexes.

Le gîte de Rio-Tinto est intercalé au milieu de schistes plissés. Il est constitué par deux grands filons de minerais intercalés entre deux filons de porphyre qui sont eux-mêmes imprégnés de pyrite. Toutes les roches des environs sont d'ailleurs

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

très altérées, kaolinisées, imprégnées de pyrite de fer.

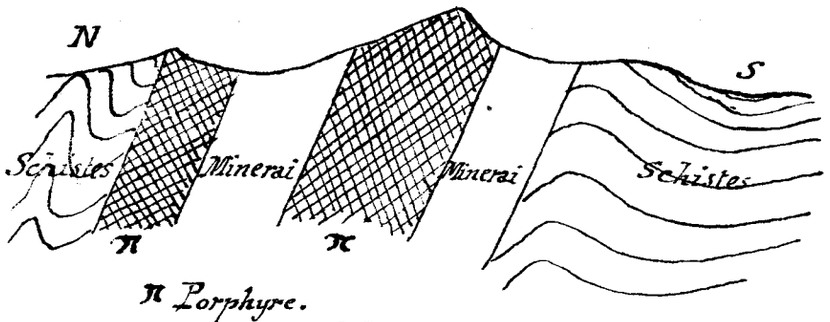


Fig. 71.

Coupe schématique du gîte de Rio-Tinto.

Tous ces amas ont une disposition lenticulaire; ils disparaissent en profondeur et s'épuiseront (Rio-Tinto, 30 ou 40 ans).

Le filon du Nord a 2 km. × 150 m; l'un de ceux de Tharsis a 600 m. × 40 m.; celui de San Domingos a 500 m. × 60 m.

On trouve comme cas extrêmes de véritables veines, ayant 7 ou 8 m. de largeur et rappelant tout à fait les filons.

Dans tous ces gisements, il faut tenir compte des phénomènes de cémentation qui ont joué un grand rôle dans toute la partie haute des gisements. Il y a eu d'abord un chapeau de fer (20 à 40 m.) sous lequel on a exploité jusque vers 1865, par petites galeries, suivant une série de veinules où s'étaient produits les phénomènes de cémentation et où la teneur en Cuivre était très forte.



Fig. 72.

Schéma du chapeau de fer de Rio-Tinto.

Les exploitations modernes n'ont plus trouvé que peu de ces veinules enrichies et au début seulement. Aussi la teneur moyenne s'est-elle abaissée à 3% puis à 2%. Les phénomènes d'enrichissement ainsi produits sont particulièrement nets sur les veines minces; on a alors l'impression de véritables filons.

Ce type existe en beaucoup d'autres points du monde:

Bodenmais (Bayerische Wald);

Schmöllnitz (Hongrie);

Agordo (Vénétie). Celui-ci est le premier gisement pyriteux de ce type qui ait été mis en évidence; il avait paru colossal au début; il est maintenant complètement vidé;

Shasta (Californie);

Mount Lyell (Tasmanie);

Namaqualand (Afrique australe).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisements à allure filonienne

Ils peuvent être en rapport avec des roches basiques ou acides. Les gîtes en rapport avec les roches basiques sont presqu'encore des gîtes de ségrégation. Les gîtes en rapport avec les roches acides sont véritablement filoniens.

L'allure est variable suivant la nature de la roche, de la gangue et des associations métalliques. On peut y établir un grand nombre de types distincts.

Les uns rentrent dans le type Banat (voir p. 25). Ils se trouvent au contact immédiat des syénites, quelquefois de diorites. Il y a le long de ces roches des minéralisations qui ont été surtout importantes quand le terrain encaissant était calcaire. Les réactions métamorphiques y ont développé surtout des silicates. La gangue est constituée par des grenats, pyroxènes, épidotes, englobant des noyaux de magnétite ou de chalcopyrite. C'est tantôt l'un, tantôt l'autre de ces éléments qui domine. D'autres sulfures peuvent d'ailleurs apparaître.

Ce type est réalisé dans l'*Oural*, à Medno-Roudiansk, près du Mont Visokaya D'ailleurs il s'y est produit des altérations superficielles ayant donné naissance à des carbonates et à des silicates.

Dans le *Sud des Etats-Unis* (Arizona, Sonora mexicaine, etc...) il y a une série de mines de premier ordre, constituées par des filons cuprifères à forte teneur en Cuivre qui sont dus à des phénomènes de contact entre des roches éruptives et des calcaires. Celles sont les mines de Clifton, Bisbee, Cananea (Sonora).

Il faut citer aussi White Knob (Idaho) où l'on trouve une cheminée éruptive, au milieu de calcaires, remplie de minerais silicatés; elle a l'aspect d'un tronc d'arbre.

Départs le long des roches acides.

Ce sont ceux où domine l'assemblage du Cuivre et de l'Etain, avec gangue de tourmaline. Tels sont les gisements de Cornouailles (Dolcoath, etc...) de Freiberg, de Rammelsberg.

On retrouve des gîtes analogues au *Transvaal*: dans le Boschveld, le Cuivre y est généralement associé au Cobalt.

Au *Chili*, la formation cuprifère est très développée et contenait des minerais ayant jusqu'à 8 et 10 % de Cuivre. La possibilité de faire venir du charbon de Patagonie, à

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

permis récemment d'exploiter jusqu'à 5%. Les gisements se trouvent surtout dans une Cordillère voisine de la côte; ils sont en relation avec des syénites et y sont associés avec de la tourmaline.

En Bolivie, dans la grande Cordillère (5000m) on retrouve des mines de Cuivre et d'Etain (voir p. 145) souvent avec Bismuth. On y a bien vu le passage d'un métal à l'autre, suivant la zône exploitée. Les parties hautes sont généralement argentifères (par exemple au Potosi) et constituées par des cuivres gris argentifères; on n'exploite plus guère que Huanchaca où on a trouvé des métaux rares du groupe de l'Etain: Germanium, Indium, etc...

En France, à La Prugne (Allier) on a exploité du Cuivre pendant quelques années, vers 1875; on a dépilé deux grands amas cuprifères enveloppés dans une roche serpentineuse que l'on a assimilée aux serpentines de Monte-Catini et qui est simplement un agrégat de chlorite résultant de l'altération de schistes amphiboliques, découpés par le système des failles du Forez. Grâce à l'altération superficielle on a des minerais à l'état d'érubescite; on en a tiré pour 1 million de minerais de Cuivre; la mine s'est épuisée et a été arrêtée. On y a noté la présence de l'Etain.

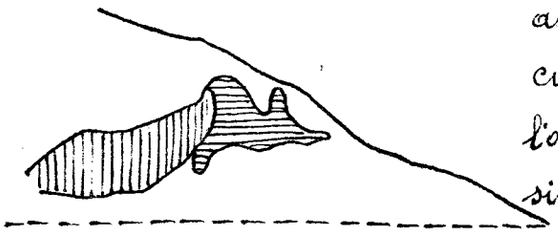


Fig. 73.

Coupe verticale des mines de La Prugne (Les deux amas ne sont pas sur le même plan; ils ont été projetés sur le plan de la figure.

En Toscane, à Boccheggiano, on trouve un ensemble complexe de filons métallifères N.S., suivant un réseau de failles par lequel a été disloquée toute la Toscane et faisant apparaître des ilôts, des horsts de Secondaire au milieu du Tertiaire. Le long des contacts il y a eu des circulations métallifères, encore représentées aujourd'hui par des sources thermales et des veines d'acide borique. Il y a eu de très nombreuses petites exploitations de Plomb (surtout au 14e siècle). Le Zinc n'y était pas représenté; on n'a donc pas pu reprendre ces mines pour Zinc. Il existe çà et là des amas de pyrite de fer cuprifère; à Boccheggiano, l'amas présente des traces d'Etain; vers 200 ou 300m de profondeur, on trouve le long du filon des sources thermales, contenant de l'acide borique

Gisements nettement filoniens.

On n'y voit plus le rapport avec la roche éruptive. Ces types sont relativement rares.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En Australie, à Burra-Burra un beau filon remplit une grande fracture avec pyrite cuivreuse. En surface, il y a un chapeau de fer et des enrichissements, donnant de l'érubescite et de la chalcopyrite (10 à 11% de Cuivre). La largeur atteint 13 à 14 m. avec concrétions quartzeuses et cuprifères très nettes.

En Algérie, il y a des gisements analogues; ils ont peu de valeur. La formation plombo-zinco-cuprifère se suit depuis la province de Constantine et diminue d'importance jusqu'à la province d'Oran. Ils ont été généralement exploités pour Plomb par les anciens; on les a repris récemment pour Zinc; puis en s'approfondissant et en sortant des galeries anciennes, on a retrouvé du Plomb. Le Cuivre y apparaît souvent; on avait fondé sur lui au moment de la conquête de grands espoirs qui ont été déçus.

La seule mine exploitée encore est à Kef-Oum-Théboul, à 12 kil. de la Calle.



Fig. 74.

Coupe géologique de la région de Kef-Oum-Théboul.

Le filon occupe une cassure le long d'un anticlinal-faillé (fig. 74). Il s'est produit des enrichissements superficiels (fig. 75) de sorte que l'on a cru à une largeur énorme du filon. Le minerai brut est très complexe: il y a 70% de minerai.

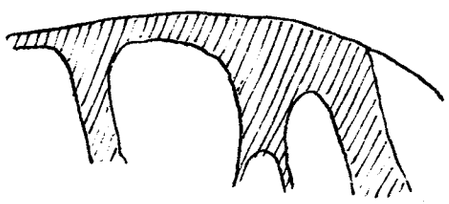


Fig. 75.

Coupe schématique détaillée des enrichissements superficiels de Kef-Oum-Théboul.

Galène	1%
Pyrite cuivreuse riche	1%
⟵ " —— moins riche	1,5%
—— " —— pauvre	40%
Blende galénifère	2%
Complexes	37%
Quartz stériles, etc	17,5%

Ce type se trouve dans une foule de points en Algérie.

Dans d'autres pays, ce type prend une importance industrielle; tels sont les gîtes de l'Amérique; il y a suivant les points, association ou non avec la roche éruptive. Le plus célèbre est celui de l'Anaconda (Etat de Montana), constituant le plus grand groupe cuprifère du monde (Amalgamated), dans la région de Butte-City. Il y a là des granites à amphibole ouralitisé, traversés par toute une série de filons, sensiblement Est-Ouest. On divise les minerais en deux groupes: les *millings* (minerais qui, soumis au bocardage, vont à l'amalgamation), les *smeltings* qui sont soumis à une fusion,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

pour mattes cuivreuses, argentifères et aurifères.

En 10 ans, on a retiré de ce groupe pour 1200 millions de métaux; actuellement on travaille sur des minerais de plus en plus pauvres. En 1887 la teneur était de 11 % Cu, et même dans certaines mines 14 et 15 %. Actuellement la teneur est de 4 à 4½ %.

Ces filons sont des fractures très nettes, très constamment et très fortement minéralisées sur toute leur largeur; il y avait de l'érubescite et de la chalcopyrite, puis en profondeur de la pyrite cuivreuse. Il avait 13 m. de largeur et 600 m. de longueur. Dans les minerais superficiels argentifères, on trouvait une association de silicates de manganèse avec de l'argent.

Tous ces filons sont à gangue de quartz.

Il y a d'autres régions où ces filons présentent une gangue carbonatée; ce sont ceux qui sont caractéristiques des zônes plissées européennes. Ce sont des veines éparpillées, ayant l'allure de filons-couches, injectant des schistes ou des marnes où les minerais de Cuivre sont associés avec de la sidérose. Cette sidérose a été souvent transformée en hématite et disparait parfois en profondeur pour faire place à la pyrite; elle est donc alors probablement le résultat d'une altération superficielle au contact de Calcaires.

Ces gisements se présentent sous la forme d'affleurements carbonatés à couleurs vives qui attirent l'attention (malachite, azurite); dès qu'on s'approfondit, on trouve à leur place du cuivre gris avec sidérose. On a ainsi obtenu parfois d'excellents résultats (La mine d'Alzen, Ariège, a donné environ 1 million de Cuivre); mais ces sortes de gisements s'épuisent très rapidement.

Gisements de Cuivre natif.

Ils se trouvent surtout au Lac Supérieur et à Corocoro (Bolivie); leur origine première est encore très mystérieuse.

Lac Supérieur. — Les mines étaient connues des indigènes avant la découverte de l'Amérique; les exploitations industrielles se sont développées vers 1850. La qualité y est supérieure. Ce groupe de mines a joué un rôle énorme sur le marché du Cuivre; bien qu'il soit actuellement dominé par d'autres mines, il a encore une grande importance.

Il est curieux de constater que ce Cuivre natif persiste aux profondeurs les plus grandes que les mines aient atteintes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Il y a là une importante série de terrains huroniens, surmontés par le Keweenavien cuprifère. Le tout forme une grande cuvette synclinale et est recouvert en discordance par le Cambrien. Depuis l'époque cambrienne, il n'y a plus eu de mouvements de plissements importants, mais seulement quelques mouvements verticaux d'ensemble.

La série cuprifère se trouve, dans le Keweenavien, dans des grès, conglomérats et des roches éruptives, mélaphyres, diabases, microgranulites, etc... L'épaisseur de ces terrains est de 10.000^{m}; il y a eu de nombreux remaniements ayant donné naissance à des conglomérats. Toutes ces formations ont été imprégnées par des veines métallifères qui ont pris des allures différentes suivant les terrains où on les rencontre.

1°) *Conglomérats cuprifères* à galets stériles de microgranulite ou de diabase, dans l'intervalle se trouve le Cuivre sous forme de petits grains ou de petits noyaux (quelquefois plusieurs tonnes).

2°) *Diabases avec amygdales de Cuivre*; on y trouve de la Calcite, des zéolites, du Cuivre natif. Celui-ci se trouve uniquement dans les amygdales.

3°) *Diabases altérées*. Les minéraux primitifs ont été remplacés par de l'épidote. Il en résulte des épigénies, celles-ci sont cuprifères.

4°) *Filons*. Un certain nombre de fractures verticales sont remplies par des minerais de Cuivre qui ont cristallisé.

En résumé, il y a eu là des remaniements évidents; là où il se trouve, le Cuivre est venu se concentrer postérieurement aux dépôts des sédiments Keweenaviens.

Les Américains admettent généralement que ce Cuivre est dû à une sécrétion latérale. Toutes les diabases et les mélaphyres de la région contiennent en effet des traces de Cuivre. Il est plus probable qu'il s'est agi au début d'une imprégnation, à peu près contemporaine de la sédimentation, dûe à des phénomènes de départ dans les roches éruptives d'âge précambrien qui accompagnent ces dépôts sédimentaires. On retrouvera peut-être en profondeur ces gites de départ à l'état originel. Il est possible d'ailleurs que tout ce que l'on voit soit le résultat d'altérations superficielles, dues à des eaux venant de la surface à une époque très ancienne, cambrienne ou silurienne.

En *Bolivie*, le même phénomène s'est produit à l'époque hercynienne, on trouve des formations permiennes tout à fait analogues à celles du Lac Supérieur. On y retrouve le même Cuivre natif.

Gisements dans les Grès, Schistes et Calcaires.

A l'époque tertiaire, on peut citer le gisement du Boléo en Basse-Californie,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Mexique (11 à 12000 t. par an).

La région est formée d'alternances de tufs, de grès et de roches éruptives tertiaires (andésites, basaltes); au milieu d'elles se trouvent des formations de cuivre stratiformes. C'étaient au début des minerais très altérés et très riches en Cuivre, ayant la forme de boules (boléos), faciles à séparer par criblages et contenant 20 à 25% de Cu. Ce minerai étant carbonaté, il y a eu des difficultés de fusion que l'on a surmontées. On a trouvé ensuite des minerais de plus en plus siliceux.

Les gisements de *Mansfeld* peuvent être rapportés au même groupe, mais en les mettant à part. Très anciennement exploités, ils fournissent 12 à 15.000 t. et 80 tonnes d'argent par an. Celui-ci constitue tout le bénéfice de la mine.

Ce sont des gisements de schistes cuprifères à allure nettement sédimentaire intercalés dans le Zechstein. Au milieu de ces schistes, on trouve une mince couche (0m.50) extrêmement riche en Cuivre.

Des formations de ce genre, d'âge permien, se trouvent tout le long de la chaîne hercynienne, depuis l'extrémité de l'Espagne (Sierra Nevada): à Majorque, en Catalogne, en Provence, dans la Hesse, dans le Nassau, dans le Mansfeld, en Silésie, en Bohème, dans le gouvernement de Perm. On y trouve constamment du Cuivre, dans des grès, des conglomérats, des schistes. Le Cuivre se trouve plus généralement dans les grès et les conglomérats, il y a pris l'allure de noyaux disséminés avec carbonate de Cuivre et Cuivre natif.

Ce genre de gisement s'associe en quelques points à des schistes cuprifères où l'on voit réapparaître le rôle des hydrocarbures.

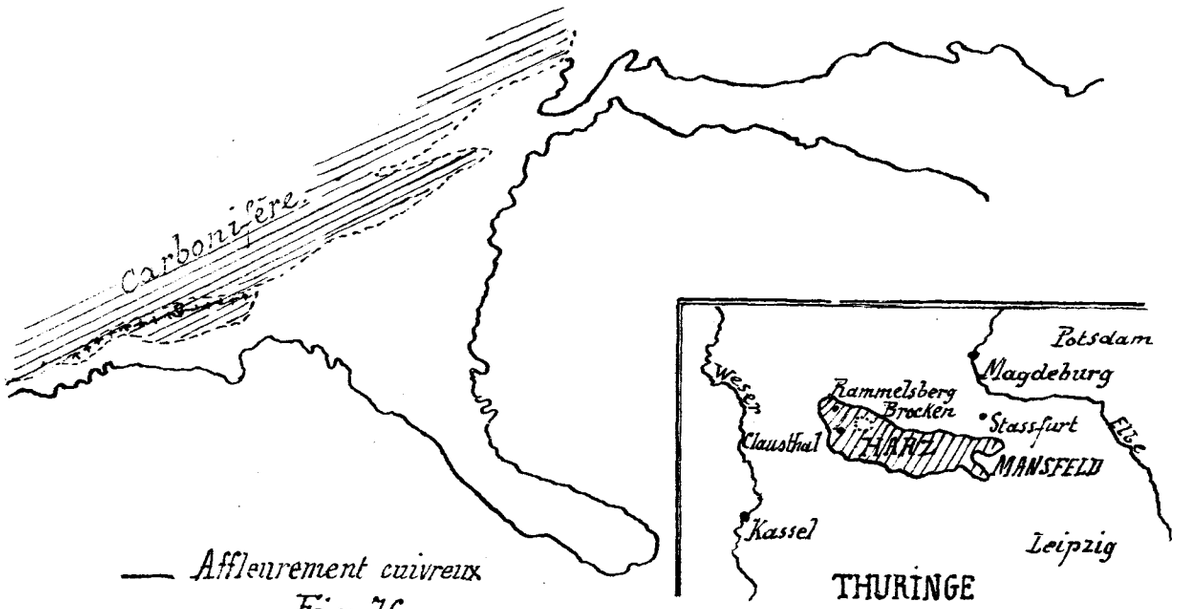
Ainsi, à *Minorque* (Espagne) il y a un charbon de Cuivre, constitué par des alternances de lignites et de filons d'érubescite ou de chalcopyrite. Dans le gouvernement de Perm, on trouve des troncs d'arbres entièrement transformés en Cuivre.

Le cas du *Mansfeld* est éclairci par celui de ces autres gisements analogues. Le Zechstein, souvent discordant sur le Primaire plissé, correspond à une phase de dénudation de ces terrains primaires; ailleurs il repose sur le Rothliegende (grès et conglomérats, épaisseur 2000m), avec mélaphyres, microgranites; roches dont l'ensemble est analogue à celui du Lac Supérieur. Ce rothliegende se termine au sommet par le "Weissliegende", puis vient la formation cuprifère. Celle-ci contient une couche de Cuivre (0m.50) surtout riche à sa base; au sommet se trouve le Dach, puis des formations lagunaires avec

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

produits d'évaporation. Les parties les plus riches se trouvent dans le voisinage du massif primaire. C'est de lui que provient vraisemblablement le Cuivre.

Carte des gisements de Mansfeld (Unterharz), (Allemagne)



— *Affleurement cuivreux*

Fig. 76.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Zinc et Plomb.

Ils seront décrits ensemble; il est presque impossible de les séparer au point de vue de la description géologique; la plupart des mines contiennent les deux métaux. Leur groupement est extrêmement intime. Mais nous commencerons par indiquer séparément leurs usages et leur statistique.

Usages et Statistique.

I. Zinc

Les anciens ne se servaient pas du zinc; à la fin du 18e siècle, quelques usines existaient en Angleterre et en Silésie; ce n'est qu'au 19e siècle qu'il a pris son développement. Encore maintenant, les procédés ont une allure archaïque. On perd une grande partie du zinc et on est à la merci de l'habileté des ouvriers.

Le zinc est employé surtout à l'état de feuilles laminées pour la couverture des toits. On s'en sert dans les laboratoires. Le Blanc de zinc tend à remplacer la céruse.

L'industrie du zinc était monopolisée jusque dans ces dernières années en Silésie, en Belgique (Vieille Montagne) et en Angleterre (Swansea). Mais actuellement il y a des usines de Zinc aux Etats-Unis, en Italie, en Autriche, en Espagne. Cependant la plupart des mines vendent leur zinc; les prix d'achat sont réglés par les formules suivantes:

(Calamine) $V = 0{,}95\ P \times 0{,}8\ T - F$

(Blende) $V = 0.95\ P \times (0{,}8\ T - 1) - F$

T = Teneur P = prix de l'unité F = frais de traitement.

La production en Zinc métal a été, en 1910 :

Etats-Unis	250.000
Allemagne	228.000
Belgique	172.000
Grande Bretagne	63.000
France	51.500

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Hollande	21.000
Autriche	13.000
Russie	8.100
Espagne	6.600

Total : 815.000 contre 465000 en 1900

Ces chiffres sont ceux de la production des usines et non pas ceux des mines qui vendent leurs minerais. Ainsi toute la production de la Hollande est importée. La France cependant produit à peu près tout le zinc qui lui est nécessaire avec nos minerais propres et ceux d'Algérie et Tunisie.

Aux Etats-Unis, le grand centre de production est le Kansas, où la métallurgie du Zinc est favorisée par la présence de gisements de pétrole à proximité. L'Ouest américain intervient pour peu de chose; les minerais n'y seraient pas traitables.

En Allemagne, les principaux centres de production se trouvent en Silésie et en Saxe. En Belgique, les gisements sont épuisés. Les mines d'Angleterre sont localisées dans la chaîne pennine. En France, on peut citer les exploitations des Malines (Gard), des Bormettes et surtout celles d'Algérie-Tunisie. Quelques gisements se trouvent en Russie (Pologne). En Espagne, il y a 2 groupes, l'un dans la région de Santander, l'autre dans celle de la côte de Carthagène.

II - Plomb.

Depuis 1880, la production du Plomb a doublé; mais elle n'a pas monté aussi vite que celle du zinc. Ainsi de 1900 à 1910 la production du Plomb est passée de 849 000 tonnes à 1 200000 tonnes, tandis que celle du Zinc a doublé.

La production du Plomb métal en 1910 a été :

Etats-Unis	355.000 t.
Espagne	211.000
Allemagne	157.800
Mexique	120.600
Belgique	88.000
Australie	98.000
Grande-Bretagne	33.000
France	20.000

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Italie	21.000
Canada	17.000
Grèce	15.000
Autriche Hongrie	14.000
(avec divers) Total :	1.200.000 environ
contre	849.000 en 1900.

Le chiffre de l'Allemagne paraît plus grand qu'il n'est en réalité, à cause de l'importation de minerais. Au contraire le chiffre est trop faible pour l'Espagne qui en exporte.

Aux Etats-Unis, les minerais viennent surtout de l'Ouest, du Colorado (Leadville), de l'Utah, du Nevada et de la frontière mexicaine.

En Espagne, les deux groupes dominants sont Linarès, la Carolina (Province de Jaen) et Peñarroya. Les minerais de Carthagène ont une production moindre.

En Allemagne, on peut citer comme régions productrices le Harz, la Prusse rhénane, la Silésie.

La plupart des mines de Plomb de la France continentale sont fermées actuellement ; mais les mines de Plomb et de Zinc d'Algérie prennent un sérieux développement.

En Italie, le principal district minier se trouve en Sardaigne.

En Grèce, la mine du Laurium joue un grand rôle.

En Autriche-Hongrie, on peut citer les gisements de Styrie.

Géologie des gisements de Zinc et Plomb

Gisements d'inclusions et de ségrégation.

Ils ne jouent qu'un rôle théorique sur lequel il n'y a pas à insister. Très mobiles à l'état de sulfures et de chlorures, ces métaux (Zinc et Plomb) ont été facilement déplacés.

Cependant on connaît quelques gites de départ immédiat où domine surtout le Plomb.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Filons concrétionnés

Ils constituent la forme la plus générale des gisements de Zinc et de Plomb.

Ils peuvent présenter deux allures principales très différentes.

A) *Ils sont encaissés dans des roches inattaquables.* - Ils prennent alors l'allure typique de minerais concrétionnés et sont localisés à une cassure nette.

B) *Ils sont encaissés dans des roches attaquables.* - Il se produit alors une imprégnation lente, stratiforme s'étendant dans le calcaire à la façon d'une tache d'huile. Le fait est surtout net pour les gites calaminaires; mais il se présente aussi pour les gisements de Plomb.

A. Gisements encaissés dans des roches inattaquables.

Il existe quelquefois dans des terrains cristallophylliens des masses de minerais qui paraissent en faire partie intégrante et avoir été introduits au moment du métamorphisme.

On connaît ensuite des filons qui peuvent être en connexion avec des plis hercyniens, avec des plis tertiaires en relation ou non avec d'anciennes cassures hercyniennes.

Enfin il y a également des gites d'allure bizarre en imprégnation dans des grès.

1) Imprégnations stratiformes dans les zones cristallophylliennes.

On les trouve dans toutes les plate-formes primitives où, à côté des zones de pyrites, on connaît des zones zincifères (Suède, Finlande, New. Jersey aux Etats-Unis, etc...)

Gisement de Ammeberg (Suède). - Il se trouve dans la région du lac Wettern. Une zône de halleflint au milieu des gneiss contient des intercalations de diorite et de calcaire silurien métamorphique.

Tout cet ensemble est très plissé et contient des minerais qui sont des blendes et des galènes avec 5% Zn et 7% Pb, en moyenne.

Tous ces gneiss sont recoupés par des filons de granulite dont les uns sont antérieurs, les autres postérieurs à la venue métamorphique. Celle-ci semble donc nettement liée au phénomène de granitisation et de gneissification.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

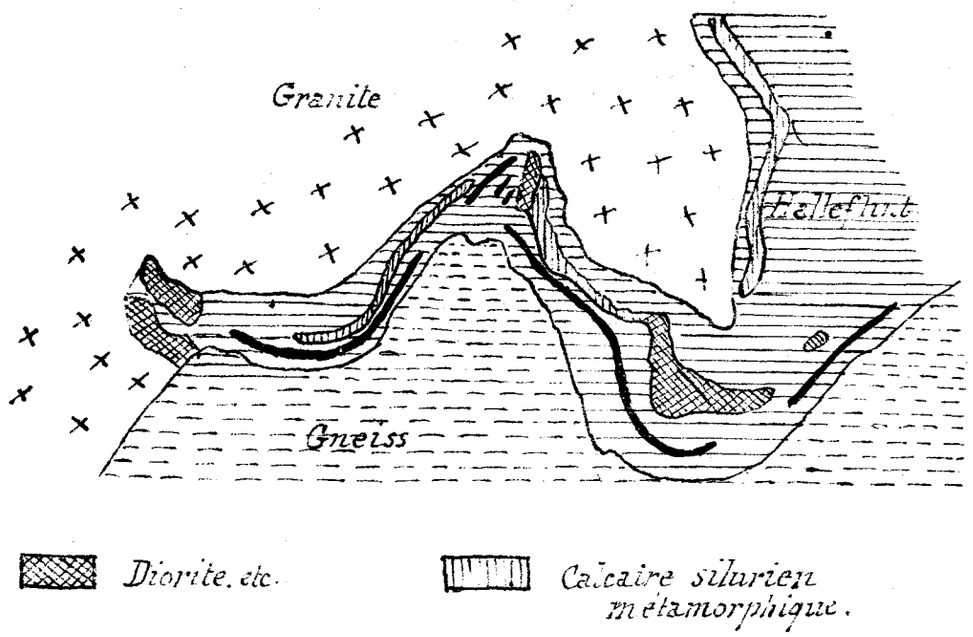


Fig. 77.

Carte schématique des gisements d'Ammeberg.

2) Type filonien minéralisé. Il est surtout développé pour les minerais de Plomb; on connait cependant des cas où l'on exploite la Blende dans des filons de ce genre.

Ces filons ont le type B G P où tantôt l'un tantôt l'autre des divers sulfures prédominent suivant les cas, les gisements, les diverses parties d'un même gisement. Il y a association avec le Quartz, la Barytine, la Calcite, la Fluorine; suivant la nature de la gangue, l'allure du minerai varie.

La gangue de Quartz n'est pas exclusivement dominante comme pour les métaux précédents. On a généralement alors une cristallisation confuse où le Plomb est disséminé irrégulièrement. Il y a cependant des cas de filons concrétionnés. Mais le type classique de filon nettement concrétionné se rencontre surtout quand la gangue est de la calcite ou de la barytine. L'origine de ces filons est due à des fumerolles chargées en chlorures et sulfures.

Ce type a du occuper une extension limitée dans l'écorce terrestre. Les fissures ont eu tendance à se disperser dans les terrains relativement voisins de la surficie; en profondeur le Plomb et le Zinc paraissent devenir moins abondants. Il y aurait une zone intermédiaire où les minerais seraient très abondants dans des fractures très nettes.

Il en résulte qu'au point de vue pratique, les gisements de Zinc et Plomb sont exposés à disparaître en profondeur, non pas qu'il y ait appauvrissement par disparition des cémentations comme pour le Cuivre, mais parce qu'on arrive à la limite de précipitation en profondeur. Le filon continue net, mais quartzeux et stérile : le Plomb disparaît.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La plupart des filons d'Espagne disparaissent par exemple vers 400m de profondeur. Par contre en Bohême à 1400m il n'y avait pas d'appauvrissement. La profondeur à laquelle se produit l'appauvrissement est, en effet, fonction de l'importance de l'érosion dans la région considérée. Si l'érosion a été importante la surface actuelle s'est rapprochée de la zone d'appauvrissement et celle-ci se trouve à une faible profondeur; au contraire, si l'érosion a été peu importante, la surface actuelle reste très éloignée de la zone d'appauvrissement et celle-ci se trouve à une profondeur considérable.

Les filons de Plomb sont presque toujours argentifères et exploités comme tels. Aussi un filon s'apprécie-t-il en filon réduit en blende, galène, argent. La teneur en argent n'est pas nécessairement fonction de la préparation mécanique; en poussant celle-ci trop loin, on diminue la teneur en argent.

Il se produit un peu d'anglésite et de cérusite en surface; ce qui détermine un enrichissement en argent. La blende y a été dissoute, mais se retrouve très vite en profondeur où l'argent doit exister à l'état de cristaux microscopiques à l'intérieur des clivages de galène; il se produit un phénomène de cémentation et d'enrichissement en argent, sans qu'on voit apparaître de minerais d'argent proprement dits.

Filons dans les chaînes hercyniennes. — Ceux qui étaient intercalés dans les chaînes plus anciennes n'existent plus; ils ont disparu par suite de l'érosion (Finlande, Canada, Scandinavie).

On peut distinguer les filons contemporains de la formation de la chaîne hercynienne et ceux qui sont dus à des minéralisations récentes de cassures hercyniennes réouvertes à l'époque tertiaire. Au fur et à mesure qu'on les étudie, la plupart des filons se rattachent à ce dernier type.

On les connaît dans le Pays de Galles, l'île de Man, l'île d'Anglesey en Bretagne, dans la Meseta espagnole, en Provence (Bormettes); etc...

Filons plombifères de Bretagne. Ils sont assez nombreux; mais ne sont plus exploités (Pontpéan, La Touche, Huelgoat) Le type le plus étudié est le gite de Pontpéan aux environs de Rennes. Dans des schistes siluriens se trouve un grand filon (N 160° E) le long d'une diorite. Postérieurement au filon, un mouvement s'est produit à l'époque tertiaire déterminant une faille (rejet 220m) mettant le Tertiaire au contact du filon. Il y a eu hydratation et altération du filon qui est passé à l'état d'une boue avec débris de galène.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On observe une série de lentilles minéralisées donnant l'apparence de colonnes à direction assez nette. Cette direction sert de guide dans l'exploitation.

On a exploité des épaisseurs réduites (6 cm). De 1873 à 1887, l'exploitation a oscillé entre 4 cm. et 8 cm.

On a eu par exemple, par mètre cube de minerai brut, des chiffres très variables :

Galène	300 Kg.	200 Kg.
Blende	100	45
Pyrite	40	200

qui sont d'ailleurs faussés indirectement parce qu'on exploite de préférence le minerai ayant le plus de valeur industrielle à un moment donné.



Fig. 78.

Coupe schématique des lentilles minéralisées de Pontpéan.

A La Touche (Ille-et-Vilaine) on a, en plein granite, un filon de galène (4 cm), de blende (2 cm) et pyrite (2 cm). C'est une moyenne ; on a trouvé des poches ayant jusqu'à 60 cm.

Le gisement de Huelgoat (Finistère) a été surtout remarquable par ses produits d'altération (chlorures, iodures d'argent, plomb gommé). On a suivi le filon jusqu'à 300 m. de profondeur ; il a 1 km. de longueur et recoupe transversalement presque toutes les roches de la région.

Espagne. Les principaux gisements se trouvent à Linarès, Peñarroya, Carthagène, etc...

Le gite de Linarès est surtout plombeux. Le zinc y est rare ; il y a beaucoup de points où il n'apparaît pas ; en revanche on y rencontre un peu de cuivre. Dans le groupe de Peñarroya, les filons sont également plombeux ; on y a observé jusqu'à une profondeur considérable des phénomènes d'altération (cristaux de gypse, de pyromorphite, de cérusite, de sidérose, etc.) dûs à une époque où la surface hydrostatique était plus basse que

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

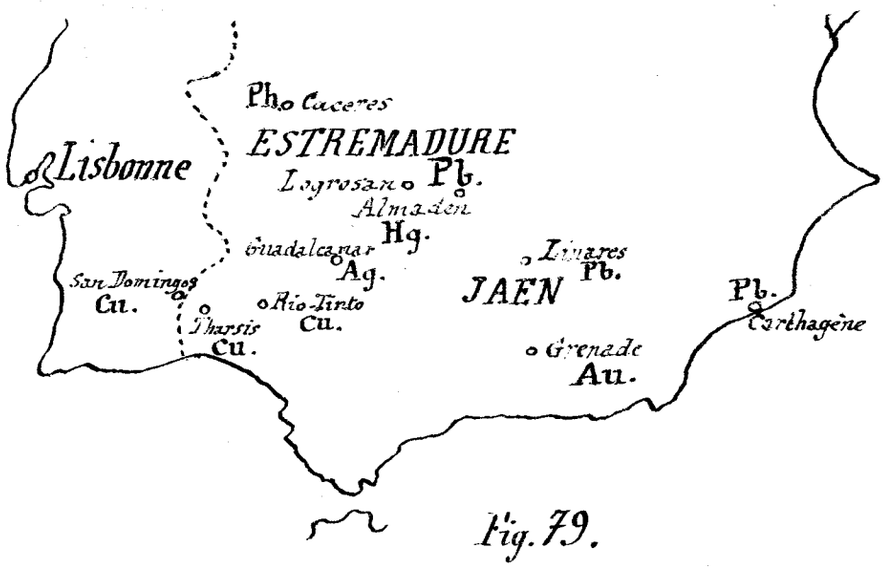


Fig. 79.

Principaux gîtes miniers de l'Espagne.

maintenant.

Les filons sont à gangue de quartz, quelquefois de calcite, exceptionnellement de fluorine. Les gisements ont une allure nodulaire très irrégulière.

Le groupe de Linarès est toujours intercalé dans le granite comme en Bretagne. (Dans d'autres régions, les filons dans le granite sont très pauvres); ils passent dans les schistes sans changer de direction ni de minéralisation.

A La Carolina, les gisements sont intercalés dans les schistes et sont à peu près interstratifiés.

Gîtes de Provence. Aux environs de Toulon, il y a un massif hercynien où se trouve le filon des Bormettes, surtout zincifère, repris il y a 20 ans avec beaucoup de succès. En profondeur, il s'est beaucoup appauvri.

Fractures d'âge tertiaire dans la chaîne hercynienne. — *Plateau Central.* Il y a là une série de filons dont quelques-uns ont été exploités fructueusement et le sont même parfois encore.

A Vialas (Lozère), il existe un champ de fractures très compliqué, analogue à celui de la Saxe, qui a fait l'objet d'études détaillées. Les filons y sont quartzeux ou barytiques; la minéralisation est parfois très argentifère suivant certaines directions de fractures. On a cherché autrefois dans tout le Massif Central les filons à même direction avec l'espoir d'y trouver la même minéralisation. Ces recherches ont été d'ailleurs infructueuses, ce qui prouve que l'idée dont on partait était fausse.

A Pontgibaud (Puy de Dôme) le filon a jusqu'à 11 m et est intercalé dans des gneiss, des granulites, des microgranulites. Il est recouvert par des coulées de basaltes (Pliocène); mais il recoupe tous les terrains encaissants. Plus loin, le même système de fractures recoupe l'Oligocène. Ces filons ont été très importants jusqu'à 200 m. Le minerai

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

était riche (200 gr. d'Ag. à la tonne). A 200 m. il est devenu subitement stérile. On a recherché sans succès sa continuation en direction. Ce filon présente des phénomènes d'altération très nets, avec formation de kaolin.

On a exploité aussi une série de gisements analogues dans la Haute-Loire, la Lozère, la Corrèze; quelques-uns sont encore en exploitation.

Groupe de Freiberg. Il est classique à cause des études détaillées qui y sont faites depuis plusieurs siècles.

Il y a là un écheveau de filons très complexes (plus de 1800) formant tout un grand système en dents de scie, avec une direction dominante NW.SE, et des séries de cassures à peu près orthogonales. Le schéma général ressemble beaucoup à celui obtenu par Daubrée en faisant subir un phénomène de torsion et une plaque de verre.

Il y a dans ces formations un ordre de succession qui paraît assez général.

1° Un type de veines sulfurées, avec minerais complexes, et même avec mispickel;

2° Veine à galène riche et pyrite;

3° Veine barytique, veine calcitique, veine argentifère.

Il est probable qu'il y a eu plusieurs formations métallifères dont une plus récente aurait remis en mouvement les métaux et dont les derniers vestiges seraient les sources thermales qui existent encore dans la région.

Les filons sont nettement concrétionnés; souvent au centre il reste des géodes parfois assez grandes pour qu'un homme puisse y pénétrer. Elles contenaient de l'eau.

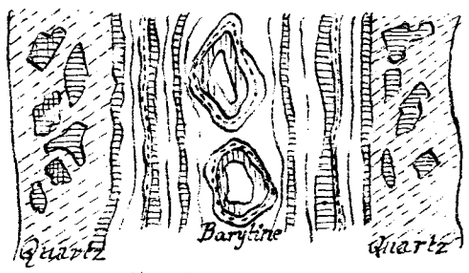


Fig. 80 — Sulfures concrétionnés.

Schéma d'un filon concrétionné à Freiberg (Saxe).

La formation sulfureuse ancienne comprend: la Kiesige bleierzformation pyriteuse avec galène, blende et gangue de quartz: l'Edlebleierzformation argentifère; l'Edlequartzformation (quartz noble) constituée par une association de quartz grenus, laiteux avec mispickel, minéraux argentifères et quelquefois dolomie; l'Edlebraun spathformation, avec 1°) Quartz, Blende, Galène, Pyrite; 2°) Dolomie avec lits de pyrite et galène; 3°) Blende dolomitique avec infiltrations quartzeuses.

On a étudié avec grand soin les intersections successives de ces filons pour se

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

rendre compte de l'ordre relatif des venues.

Les résultats généraux paraissent problématiques; en tous cas ils ne sont pas applicables au reste du monde.

Gisements du Harz (Allemagne). Le Harz est un grand plateau de forme semi-elliptique où l'on peut distinguer: Ober-Harz et Unter-Harz.

Cette région a subi des dislocations très nombreuses dont l'âge est discuté; les unes paraissent correspondre à la montée des granulites (âge hercynien) et les autres paraissent postérieures, peut-être tertiaires.

Le champ de fractures de Sanct Andréasberg, dans l'Ober-Harz est très curieux; il y a là une série de zone de broyage, avec *Ruschels* (fragments de schistes) sur plus de 60 m. Les rejets y sont importants. Il y a dans leur intervalle des dislocations secondaires qui sont constamment minéralisées; ce sont en particulier des filons argentifères (0 m 60) avec calcite, quartz, rarement fluorine, galène, blende, argent rouge, argent arsenical, un peu de minerais de nickel et de cobalt. Une série d'altérations et de remaniements ont pu contribuer à l'isolement des minerais argentifères.

A Clausthal, les faits sont plus nets; il y a aussi des filons-failles avec rejets verticaux et latéraux, et salbandes au contact, ayant 40 m de puissance; il y a souvent une dislocation générale suivant laquelle les couches sont minéralisées, surtout du côté du toit où il n'y a pas de limite extrêmement nette.

L'ordre de succession a été: d'abord quartz, puis calcite et barytine; le fait paraît général dans la région, soit qu'il soit primitif, soit qu'il soit dû à des altérations postérieures.

Le groupe de *Rammelsberg* est un amas pyriteux, d'origine sédimentaire pour les géologues allemands, d'origine intrusive plus probablement.

En Bohême, le système filonien de Przibram est intéressant parce que la profondeur jusqu'à laquelle on connaît les filons est très considérable (1400 m); on a trouvé des alternances de zones pauvres très importantes et longues, et de zones riches. Les filons sont approximativement Nord-Sud coupant obliquement les diverses formations sédimentaires (fig. 81). Chacun d'eux montre un système de fractures reliées par des fractures transversales (fig. 82). Leur remplissage est plombifère.

On trouve sur certains filons de la sidérose en surface; elle descend jusqu'à 200. 300 m; la galène s'y rencontre mélangée à du quartz; il y a eu par endroits dans la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

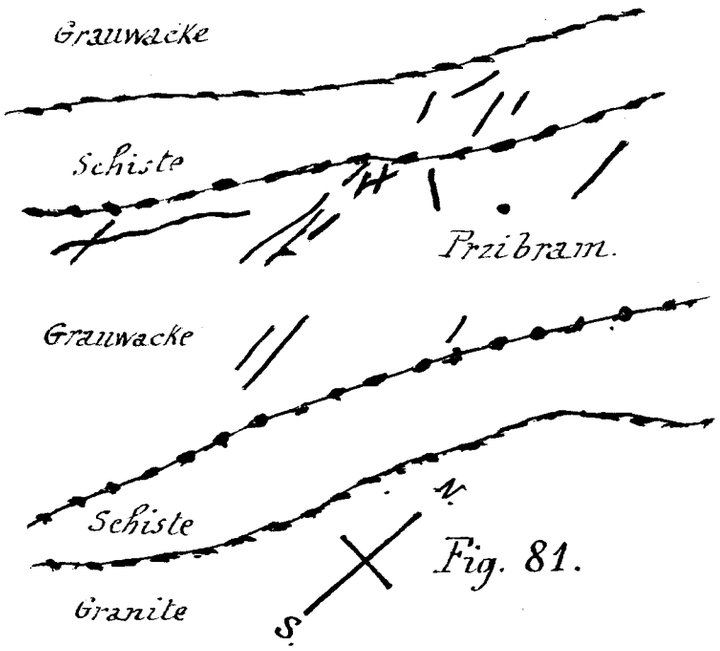


Fig. 81.

Carte géologique schématique des filons de Przibram (Bohême).

partie haute des filons des formations de Cuivre gris et de bournonite avec minerais oxydés (wulfénite et pyromorphite).

Le champ de Mies, présente des conditions analogues; les filons y sont encore plus réguliers; on y retrouve l'association de la galène et du quartz.

Comme directions de cassures ces champs de filons sont réguliers. On n'y remarque pas les phénomènes de torsion de Freiberg et les cassures successives.

On y a constaté l'influence de roches encaissantes sur l'allure des filons; celle ci est beaucoup plus nette dans la grauwacke que dans les schistes.



Fig. 82.

Coupe verticale des filons de Przibram (Bohême).

Filons d'âge tertiaire.

On trouve des gisements de ce genre en Espagne, dans les Apennins, dans les Alpes; on peut y rattacher ceux d'Algérie. On en connaît au Japon, dans les Montagnes Rocheuses, etc...

Ils présentent en moyenne moins de régularité et de constance que ceux qui sont encaissés dans les terrains cristallins, plus compacts et plus homogènes. Les cassures ont souvent une tendance à s'éparpiller, les filons sont généralement irréguliers, sauf quand ils ont pris l'allure de filons-couches au contact des terrains de nature différente. Dans le voisinage des calcaires, l'altération de ceux-ci a permis la formation de grands gisements de calamine et de cérusite.

Dans la région de Carthagène (Espagne) les minerais sont connus depuis la plus haute antiquité (Carthaginois, Romains). Il y a là des filons très bien caractérisés (Mazarron, Almeria) associés à des trachytes tertiaires, et rappelant ceux du Névada, etc..., en Amérique.

A Carthagène même, les minerais forment surtout des filons-couches dans des schistes

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

et calcaires paléozoïques. Les "silicates de fer" forment une couche presque continue avec galène et autres sulfures métalliques (blende, pyrite transformée partiellement en hématite). Etant donnée leur richesse et leur constance, ces filons-couches ont pu être exploités fructueusement.

Il y a de plus des lentilles passant à des amas (imprégnations diffuses) avec galène moins abondante et un peu plus de blende. La pyrite y est transformée superficiellement en hématite. Enfin dans les calcaires, on a trouvé de grands amas de calamine, devenus aujourd'hui en profondeur complètement filoniens, des "crestones" c'est-à-dire des amas de galène, sidérose, avec minerais oxydés de Zinc, de Plomb; on y a trouvé des hématites très argentifères. Ce sont des produits d'altération caractérisés par la présence de Manganèse. On doit donc noter ici l'association de Pb, Fe, Zn, Mn.

Il y a dans les Pyrénées un très grand nombre de gisements sans importance industrielle; ils sont en effet très irréguliers par leur formation même; ils ont été disloqués depuis, de sorte que leur état de morcellement est, pour cette double raison, très grand, malgré cela quelques mines donnent de bons résultats. La régularité est plus grande sur le versant espagnol; les filons sont plus nets, surtout quand ils traversent des terrains anciens.

La mine de Pierrefitte a passé par des alternances de prospérité et de crises. On y trouve une sorte de filon-couche formé d'une masse siliceuse minéralisée, intercalée dans des schistes et des microgranites. Cette masse a 6 à 7 m d'épaisseur; seulement la minéralisation y est très irrégulière; on suit des centaines de mètres stériles et on rencontre parfois des lentilles d'une richesse considérable. Actuellement la zone plombifère est épuisée; dans son prolongement vers le Nord, on trouve des filons zincifères.

Au Suelza (versant espagnol) il y a un système de filons-failles dans le Permien, juxtaposé par faille au Jurassique. La fracture est assez nette et présente 30 à 40 alternances de blende, pyrite, galène. La calcite y domine comme gangue.

Des exploitations du même genre ont existé dans les Alpes (de la Savoie jusqu'à l'Isère) et sont abandonnées aujourd'hui. On y a trouvé de la galène, de la blende, de la sidérose, avec un peu de chalcopyrite, de nickel et de cobalt, et même d'Or (La Gardette). Ces gisements ont été exploités pour Plomb jusqu'au commencement du 19e siècle. Ainsi le gisement de Grand Clot (Isère) est très curieux par la netteté de ses trois filons se ramifiant vers la partie supérieure.

Le gisement de Pezey, près Moutiers (Savoie), est à 1800 m de hauteur.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En Ligurie et en Toscane (Italie), on trouve une série de gisements, ayant l'allure de filons-couches ou de filons de contact. Les plus riches se trouvent au voisinage des calcaires et sont constitués par des amas calaminaires. Cependant il existe des décrochements contenant des filons de P.B.G.

Au Caucase, les gisements analogues sont peu exploités et d'ailleurs difficiles d'accès (Les minerais cuprifères du Petit-Caucase sont plus au Sud).

Gisements encaissés dans les calcaires.

Dans ce cas, il s'est produit un phénomène de substitution par métasomatose; il s'est produit des sulfates qui ont donné des carbonates métalliques et du sulfate de chaux; celui-ci n'a été conservé un peu abondamment que dans les cas exceptionnels comme les grottes du Laurium ou à Santa-Eulalia au Mexique.

On peut distinguer:

a) Gisements particulièrement plombeux.

b) Gisements particulièrement zincifères (Calamine).

On pourrait également baser la distinction sur la nature de la zone de broyage.

a) *Gisements particulièrement plombeux.* Le gisement d'Eureka (Nevada) a produit de 1873 à 1883, 225.000 t de Plomb et 300 millions d'Or et d'Argent. Ultérieurement le gisement s'est coincé et divisé, et on a été obligé

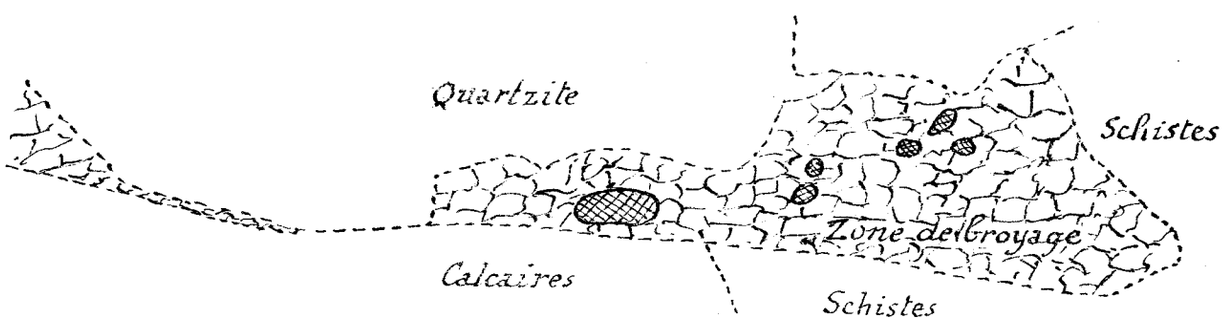


Fig. 83. Amas métallifères

Carte schématique des gisements d'Eureka.

d'abandonner l'exploitation.

Une zone de calcaire broyé s'y trouve intercalée entre deux failles; elle est

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

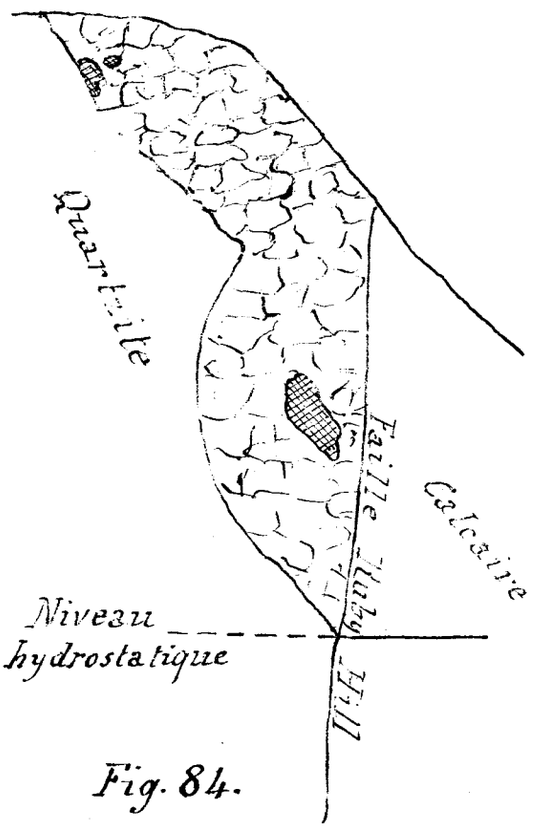


Fig. 84.

Coupe du gisement d'Eureka.

fortement minéralisée; des altérations postérieures y ont encore concentré la minéralisation qui s'est faite en amas ou chambres (chambers); on les a cherchées et trouvées de distance en distance (fig. 83).

A une certaine profondeur, il y a eu envahissement par les eaux, foisonnement du calcaire broyé et disparition du gisement (fig. 84). Le phénomène est le même que dans le gite de Manganèse (p. 235) de Las Cabesses (Ariège).

Le gisement de Sala (Suède) est très analogue; c'est l'un des rares gisements suédois ayant un caractère filonien.

En Angleterre, il y a toute une zone minéralisée dans la chaîne pennine. Les "Mountain limestones" sont intercalés de calcaires plus marneux et de basaltes amygdaloïdes (toadstones).

Les cassures ont des allures très variables, les unes sont verticales (rakes), les autres perpendiculaires aux bancs (veins), les autres parallèles à eux (flats). Les eaux ont suivi toutes ces cassures et les ont minéralisées; il en résulte une allure très complexe, analogue à celle des avens et des grottes. A certaines intersections, se sont développées des "pipes", véritables cheminées, remplies de minerais. Il y a eu d'ailleurs des phénomènes d'altération postérieures.

Dans le bassin du Mississipi (Joplin, Galena, Bonne-Terre), on connaît des phénomènes analogues, au milieu du calcaire du Mississipi; les gites présentent une allure en échelons très curieuse.

Dans les Alpes (région de Raibl), il y a des concrétions remplissant des vides. Certains géologues ont vu là uniquement un remplissage de grotte. Ce remplissage existe, mais ne constitue pas le phénomène originel. Il est plus probable qu'il y a eu d'abord une venue métallifère; puis à une époque récente, les grottes se sont creusées et ont été remplies par des minerais empruntés à ces gisements antérieurs et remis en mouvement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

D'autres gisements sont très typiques à cet égard.

Le gite de Léadville (Colorado) est l'un des plus importants du monde. On y a exploité d'abord l'Argent et l'Or, puis le Plomb, puis le Zinc, suivant les conditions industrielles.

La production a atteint en 1890, 46000 tonnes de Plomb. Le gisement a produit en sept ans seulement de 1877 à 1884 pour 500 millions de métaux (Or, Argent et Plomb). Ces minerais sont très curieux au point de vue de leur allure.

Les terrains encaissants appartiennent au Silurien et au Carbonifère; ils ont été non plissés, mais gauchis et disloqués; la formation métallifère s'est faite au contact des microgranulites et des terrains encaissants qui paraissent avoir été dissous et remplis de minerais.

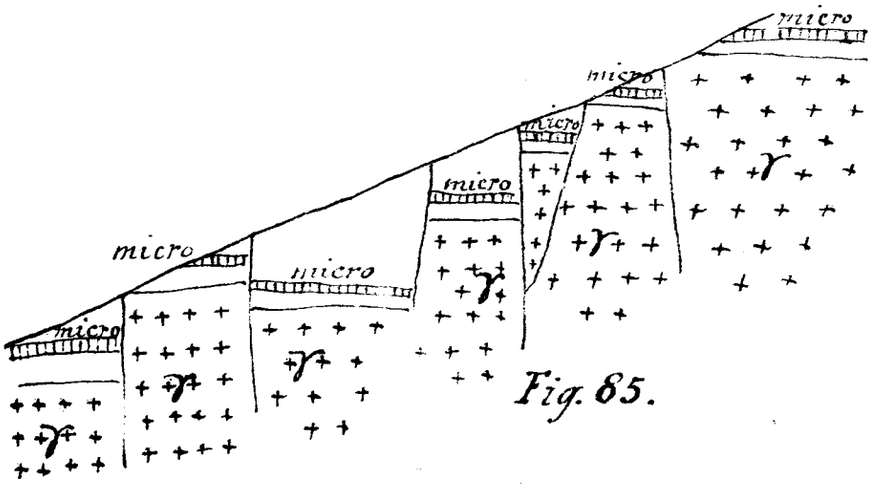


Fig. 85.

Coupe schématique du gisement à Leadville.

On a exploité surtout du carbonate de Plomb, des arséniates et des phosphates de plomb, constituant de véritables minerais jaunes (mimétèse, pyromorphite). Des concentrations paraissent avoir développé de la Barytine et de la Strontianite. Ces minerais contiennent des teneurs en Au très variables suivant la proportion d'arsenic, l'arsenic accompagnant généralement l'Or.

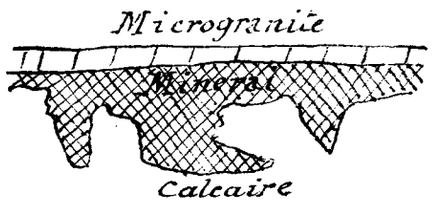


Fig. 86.

Schéma de la disposition des minerais à Leadville

En profondeur on a trouvé des sulfures complexes, beaucoup moins riches.

A Bulgar-Maden (Taurus cilicien), gisement qui ressemble tout à fait à celui de Leadville, la formation de grottes est très développée. Il y a là une série de microgranulites, alternant avec des calcaires; la formation métallifère est au contact des deux terrains.

Il y a eu des circulations d'eaux superficielles, récentes; elles ont créé de véritables grottes, dont un tunnel qui traverse toute la montagne; dans ces grottes il s'est fait un remaniement des minerais; les uns sont remaniés mécaniquement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

par les torrents circulant dans les grottes (galets de cérusite, recouverts par des stalagmites); les autres sont dus à des dissolutions de sels métalliques et ont formé des stalagmites de galène et de cérusite, etc.... Ils sont incontestablement postérieurs.

b) Gisements principalement zincifères (amas calaminaires). — Le type peut être pris à la Vieille-Montagne (Belgique). Il y a de Liège à Aix-la-Chapelle un système de cassures avec métallisations zinco-plombifères. Leur âge est bien déterminé; la transgression cénomanienne a recouvert les plis et les gisements métallifères. Il y a eu certainement des phénomènes d'altération continentale produits avant l'époque cénomanienne.

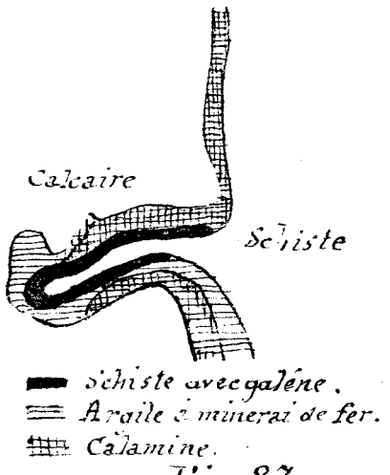


Fig. 87.

Coupe du gisement de Welkenraedt. (Vieille-Montagne).

A Welkenraedt, les gisements métallifères se trouvent au contact des schistes et des calcaires; on y trouve, soit des argiles zincifères, soit de la calamine au voisinage des calcaires, soit de la galène, au contact des schistes.

A La Vieille-Montagne des poches de calamine se sont développées dans des calcaires devenus magnésiens. La région du Laurium (Grèce) est une des zones du monde où les formations de contact sont les plus caractérisées. Il y a des alternances de calcaires et de schistes. On exploite les différents contacts et en particulier le troisième. Quand on les étudie dans le détail, on y voit des *griffons*; ils sont limités en profondeur; ce sont des diaclases imprégnées de minerais et ayant cristallisé; on y trouve l'association de la galène, de la calamine, de la sidérose

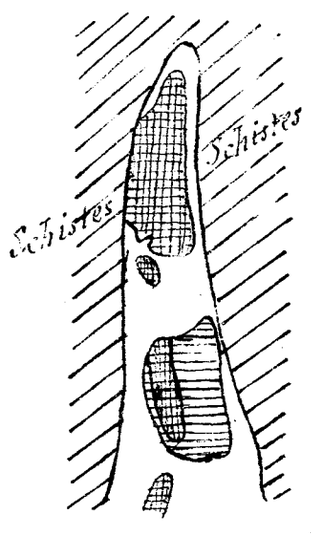


Fig. 88.

Coupe verticale d'un gisement de la Vielle-Montagne.



Fig. 89.

Coupe des gisements du Laurium.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC



Fig. 90.

Détail du contact minéralisé du schiste et du calcaire, montrant les grisons.

et des oxydes de manganèse. Là se sont formés dans des grottes les magnifiques échantillons cristallisés du Laurium.

Le phénomène de remaniement s'est produit entre les calcaires et les schistes, et quelquefois au-dessous de certains filons de granulite. On y a trouvé de véritables "pipes" ayant jusqu'à 25 m., remplis de bioxyde de manganèse qui s'est rapidement épuisé.

Sardaigne. La région minéralisée (Iglesiente) se trouve dans le Sud-Ouest. Il y a un massif de granite, entouré de filons dont l'un a donné lieu à la mine de galène de Monte Vecchio, puis vers le Sud des schistes et des calcaires; au contact de ces groupes de terrains se trouvent les parties minéralisées avec les mines de San Giovanni, Monte Poni, Malfidano. La minéralisation est si constante qu'on a parlé quelquefois d'une couche minéralisée.



Fig. 91.

Carte schématique du S.W. de la Sardaigne (Iglesiente).

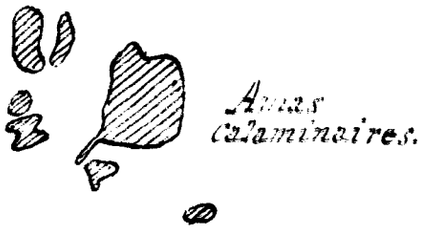
Ainsi Monteponi est situé au contact du schiste et du calcaire. En pleine zone schisteuse il n'y a pas de minerai ou peu de minerais; au contact des schistes et du calcaire, tous les joints des terrains sont métallifères (colonnes plombifères).

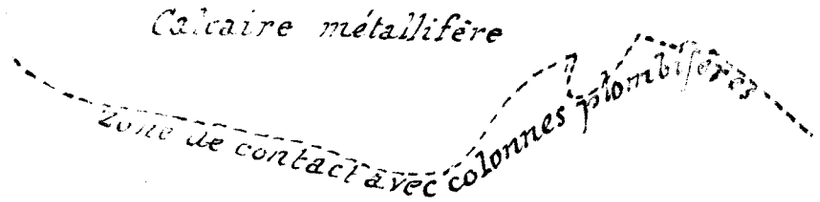
Plus au Nord, se trouvent de grands amas calaminaires (fig. 92).

Haute-Silésie. Le Plomb et le Zinc y sont tellement mélangés qu'il y a eu des difficultés entre les concessionnaires de tel ou tel métal.

Il y a là un grand synclinal de Muschelkalk calcaire où les minerais B.G.P. se sont déposés. On les y trouve sous deux formes, tantôt avec calamine blanche, lorsque les sels de zinc se sont déplacés seuls à l'exclusion des sels de fer, tantôt en calamine rouge lorsqu'ils sont

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC





Schistes à peu près stériles.

Fig. 92.

Plan schématique de la mine de Monte-Poni

restés associés avec les sels de fer.

Souvent le fer a été remanié et remplit des poches à la partie supérieure.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Argent.

Usages et Statistiques.

L'argent a un rôle économique bien connu. Mais il y a une très forte proportion d'argent qui a des usages industriels. On se sert d'alliages d'argent et de cuivre; 900‰ d'argent pour la monnaie, et 800‰ (2e titre) pour la bijouterie et la vaisselle. On l'utilise aussi pour l'argenterie.

L'usage de l'argent comme monnaie a mis l'argent dans une position spéciale. Les Grecs ne possédaient que cette monnaie. L'Or n'a été introduit qu'au moment des communications avec l'Orient et la Macédoine. Chez les Romains, les deux métaux, Or et Argent ont eu cours ensemble. Pendant le Moyen-Âge, les métaux précieux ont presque disparu; ils ont repris leur rôle au moment de la découverte de l'Amérique; le cours de l'argent a dès lors été très variable.

1500 ..... 321 fr.
1700 ..... 230 fr.

Dans les deux premiers tiers du 19e siècle, le rapport fixe entre l'or et l'argent a été considéré comme une loi naturelle; le prix de l'argent oscillait alors entre 215 et 220 frcs. Mais vers 1845 les placers de Californie et d'Australie ont été mis en valeur et ont jeté sur le marché une grosse masse d'or; les banques ont cru alors un moment devoir se défendre contre l'afflux d'or anormal qui a duré à peine une dizaine d'années.

De 1860 à 1874, la valeur de l'Argent a varié de 226 à 227 seulement; les bimétallistes ont pu soutenir qu'il y avait un rapport réglé par la nature aussi bien que par les lois.

Mais vers 1872, un certain nombre de pays ont renoncé à la monnaie d'argent, l'Allemagne d'abord. Il en est résulté une grande baisse de l'Argent (de plus de 50%).

1873 ..... 220 fr.
1895 ..... 110 fr.
1900 ..... 102 fr.
1914 ..... 92 fr.

Actuellement, on a généralement renoncé à la monnaie d'argent, sauf comme monnaie d'appoint et on se sert exclusivement, comme étalon monétaire, de monnaie d'or.

Dès que l'argent a cessé d'être considéré comme l'étalon monétaire et qu'il n'a plus

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ou que le rôle monétaire d'une monnaie d'appoint, une crise s'est produite dans la production. Cette crise a amené la fermeture de nombreuses mines d'argent et par suite de plomb. Mais peu à peu l'usage de l'argent en bijouterie a augmenté et la production est actuellement croissante.

Les mines tendent à se rouvrir: le cours reste stable au moins en moyenne, aux environs de 95- 100 fr.; la production tend à augmenter légèrement.

1890.....4.380.000. kgr. d'argent
1894.....5.550.000. kgr
1909.....7.069.000 kgr.
1910.....7.267.000 kgr.
1914.....7.000.000 kgr. environ

Dans l'ensemble la production est stationnaire ce qui est exceptionnel pour les métaux.

Le *Mexique* vient à la tête de la production: 2.250.000 kg. en 1910, soit le double de la production de 1890

Ensuite viennent les *Etats-Unis*. C'est là que la crise du bimétallisme a été la plus intense (L'Ouest était partisan de l'argent; l'Est y était opposé). La production y est restée sensiblement la même avec des fluctuations entre 2.000.000 et 15.000.000 Kgs.

1890.....1.790.000 Kg.
1914.....2.112.000 Kg.

Le *Canada* a pris récemment un énorme développement au point de vue de la production de l'argent. Cela tient à la découverte du gisement de Cobalt qui est devenu un des plus grands gisements du monde.

1890.....12.000 Kg.
1913.....1.000.000 Kg.

L'*Australie* se trouve dans les mêmes conditions que les Etats-Unis.

1896	6.000 Kg.
1900	683.000 Kg.
1913	586.000 Kg.

Cela tient à la baisse du grand gisement de Broken-Hill.

L'*Allemagne* a une grosse production; elle est surtout industrielle, c'est-à-dire due à des exportations étrangères.

La *Belgique* arrive pour les mêmes raisons à 254.000 kg.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

La *Bolivie* a des mines qui subissent des fluctuations très violentes.

1894 ..... 684.000 kg.
1910 ..... 217.000 kg.

Le *Pérou* a pris un grand développement:

1890 ..... 70.000 kg.
1910 ..... 201.000 kg.

Viennent ensuite:

l'Espagne: 1910 ..... 148.000 kg.
le Japon: 1913 ..... 149.000 kg.

En résumé, le Mexique produit 1/3, l'ensemble des Etats-Unis et du Canada produit un autre tiers de la production totale.

Détails sur la production.

Aux *Etats-Unis*, la production d'argent vient presque entièrement de l'Ouest. Les placers de Californie ont été découverts en venant de la côte; puis on a remonté les pentes des montagnes; vers 1860, on a trouvé dans le Nevada des mines d'or où l'argent est d'ailleurs prédominant (Comstock, Eureka, etc). Le mouvement d'émigration s'est ensuite continué et a atteint la région de l'Utah où la législation des Mormons défendait l'exploitation des mines (jusque vers 1880). On a exploité ensuite dans le Nord le Montana, dans le Sud, l'Arizona, le Colorado, et le Nouveau-Mexique. Les premiers gisements trouvés ont été rapidement épuisés au moins en apparence. Mais, à la suite de la découverte de procédés plus économiques on a pu reprendre les mines abandonnées.

L'histoire du *Mexique* a été sensiblement la même; on a traité d'abord les minerais amalgamables; vers le XVIII^{ème} siècle, on est arrivé au niveau hydrostatique; on a dû lutter alors contre la venue des eaux au moyen d'énormes tunnels; puis est arrivée la guerre civile qui a arrêté les exploitations.

Vers 1860, on a repris les anciennes mines en profondeur, en traitant les minerais sulfurés (600 gr. à la tonne) au lieu des minerais de cémentation superficiels (2 et 3 kgr à la t.); on a organisé toutes ces mines d'une façon moderne.

En *Australie*, la découverte du gîte de Broken Hill a eu lieu en 1883; les minerais ont été d'une richesse considérable jusque vers 1895 (1,2 à 1,5 kg à la t.) il s'agissait de Kaolins argentifères. En arrivant au niveau hydrostatique il y a eu un appauvrissement notable; une grève a eu lieu à ce moment. La mine a été alors abandonnée aux mineurs. Elle a beaucoup

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

baissé. Actuellement elle est reprise avec des méthodes nouvelles; la production reste cependant peu considérable.

Géologie.

Les minerais d'argent proprement dits jouent un rôle médiocre. La plus grande partie de l'argent vient de minerais où domine un autre métal (blende, galène, chalcopyrite,) et des produits de décomposition (ocres, terres, boues).

On peut exploiter jusqu'à une teneur minima de 200 gr. à la tonne environ.

L'*argent natif* cesse toujours en profondeur. Cependant à Kongsberg, Norvège, il se maintient jusqu'à 750 m.

Les *minerais sulfurés* jouent un rôle de plus en plus faible. L'argyrose (Ag_2S), la polybasite ($[Ag\,Cu]_9\,Sb\,S_6H$) l'argyrythrose (Ag_3SbS_3), les sulfo-arséniures comme la proustite ont une tendance à disparaître quand on s'enfonce. Ils doivent subsister à l'état d'inclusions microscopiques dans d'autres minerais.

Les *chlorures, bromures, iodures* se trouvent en affleurement et disparaissent à quelques mètres de la surface.

Il y a donc deux grands groupes:

I_ Minerais subordonnés aux filons B.G.P.

II_ Minerais à minéraux isolés d'argent.

I. Groupe des minerais subordonnés aux filons B.G.P.

Ce sont les gisements de plomb, de cuivre etc, étudiés précédemment:

Leadville, Colorado (p. 275)

Eureka, Nevada (p. 273, 274.)

Montana et Arizona (p. 257).

Laurium, Grèce. (p. 276).

Mines de plomb d'Espagne (p. 267).

II. Groupe des minerais d'argent proprement dits.

Ce sont surtout des types filoniens. Les autres types métallogéniques n'existent plus

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

pour ce métal. Cela tient à la facilité avec laquelle l'Argent est déplacé dans ses gisements et remonte vers la surface. Il y a eu par suite des remises en mouvements qui ont pu se produire dès la mise en place des roches primitivement argentifères et qui se sont continuées indéfiniment.

Un filon d'argent montre généralement trois zônes successives:

1° *en surface*: minerais chlorurés, bromurés, iodurés, avec argent natif. Les terrains sont décomposés, transformés en argile. Les sels de fer sont peroxydés; les sels de plomb passent à l'état de carbonate. On a, par suite, sur une puissance variable (15 à 20 m.) des limonites, des terres, des cérusites argentifères.

2° *La zône de cémentation* qui subsiste jusqu'au niveau hydrostatique; dans les pays à fort relief (Andes) elle est très développée, sur plusieurs centaines de mètres de hauteur. L'argent est concentré sous la forme de sulfo-arséniures et surtout de sulfo-antimoniures. Le cuivre s'y trouve à l'état d'érubescite, de covelline et d'un peu de chalcopyrite.

Les parties les plus riches se rencontrent à la base, à la limite du niveau hydrostatique (bonanzas) où l'on trouve des minerais accumulés dans des sortes de chambres (chambers) ayant par exemple 50 m x 50 m.

3° *La zône des sulfures complexes* où la teneur d'argent dépasse rarement 600 gr. à la tonne.

On peut distinguer:

1° filons de quartz argentifères.
2° filons cupro-argentifères.
3° filons d'argent avec cobalt.
4° filons d'argent avec calcite.

1° *Les filons de quartz argentifères* sont souvent aurifères. Les filons auro-argentifères sont donc un cas particulier ayant un certain intérêt industriel.

Le gisement du Comstock (Nevada) a été découvert en 1859 par deux mineurs irlandais, morts l'un fou, l'autre de misère. C'est un filon-faille, entre deux roches, andésites et diabases qui ont joué par rapport les unes aux autres. Il présente au milieu un élargissement et se termine à ses extrémités par éparpillement.

On trouve une **brèche avec sulfures complexes** argentifères; en s'approfondissant, ces gisements sont devenus difficiles à exploiter. En 20 ans on en a tiré 2 milliards: argent 58% et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

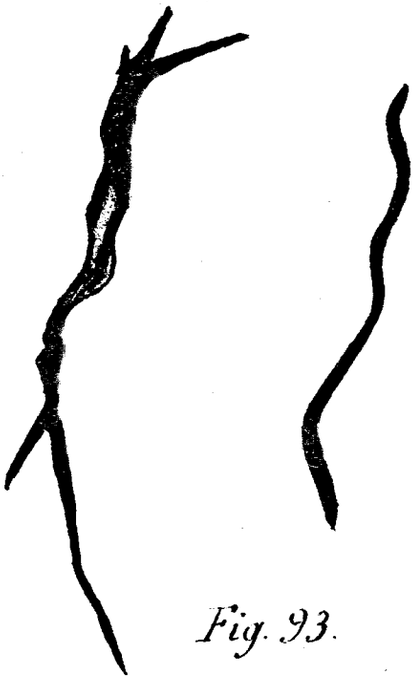


Fig. 93.

Schéma des deux principaux filons du Comstock. (Nevada)

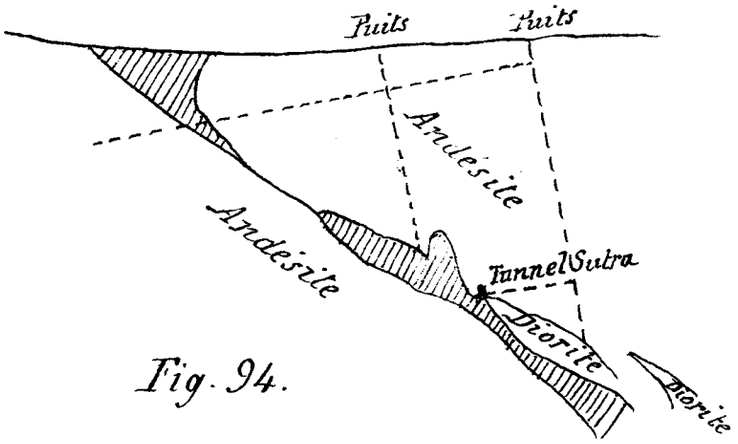


Fig. 94.

Coupe du filon du Comstock. (Nevada).

Or 42%). Certaines bonanzas ont donné des minerais valant jusqu'à 4.000 fr. la tonne. L'une d'elles a produit à elle seule 215 millions de francs. Mais dès qu'on s'approfondit, la température a augmenté tellement que le travail n'a pas pu continuer.

Gîtes du Mexique. —

Les gisements sont très importants sur un grand plateau à 2.000 m. d'altitude qui occupe une grande partie du Mexique. Ils sont exploités depuis longtemps ; ils ont été repris récemment en même temps qu'on faisait des recherches plus au Nord. Ils sont tout à fait typiques au point de vue de la distribution en profondeur et en relation avec des andésites tertiaires.

Guanajuato a produit avec une seule mine plus de 3 milliards de francs. Le filon était à gangue de quartz et de fluorine. Ce fut longtemps la mine la plus profonde du monde (650 m.)

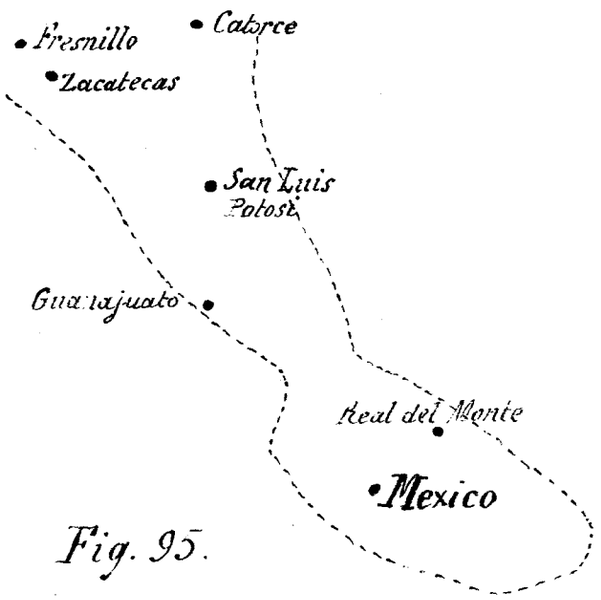


Fig. 95.

Carte schématique des principales mines d'argent du Mexique.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

A *Real del Monte*, exploitée surtout depuis la dernière moitié du XVIII^e siècle et reprise récemment, on trouve une brèche quartzeuse avec calcite rare, sulfure d'argent et sulfo-antimoniures.

On trouve un type analogue à *Catorce* (2 Km. de longueur X 12 m. de puissance) avec les mêmes minerais à gangue quartzeuse et fluorée passant peu à peu à des minerais complexes.

A *Zacatecas*, les bonanzas se sont produites entre 30 et 40 m. et 300 à 400 m.

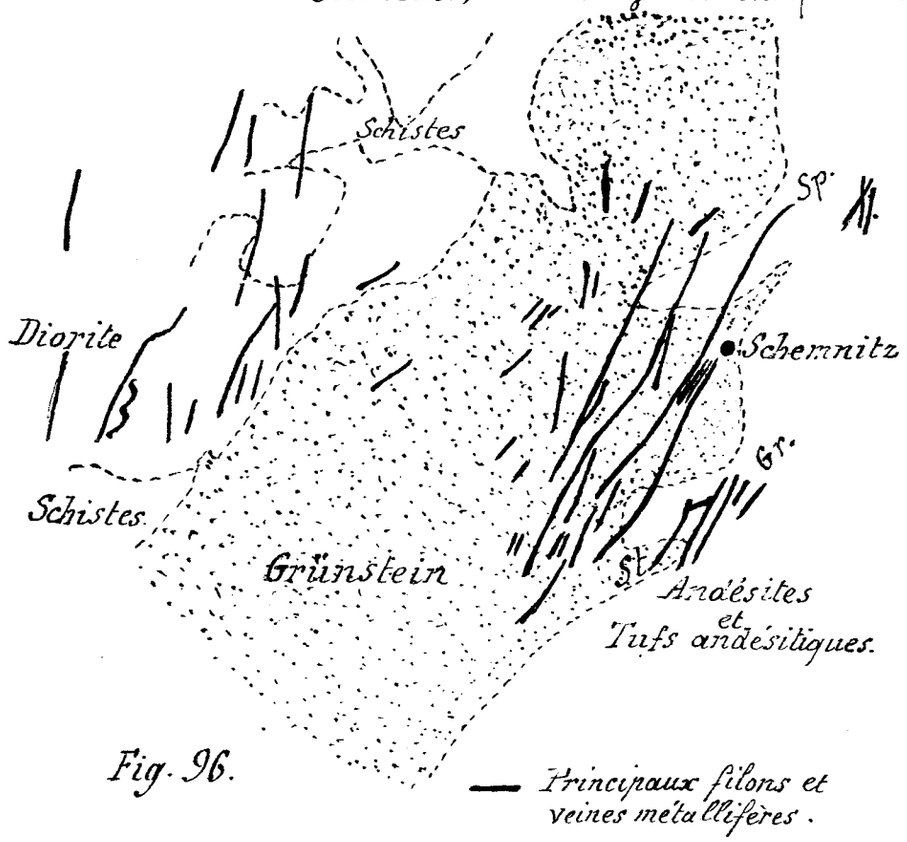


Fig. 96.

Carte géologique schématique du district de Schemnitz (Hongrie).

Des types analogues se retrouvent dans l'*Amérique du Sud*, en Colombie, au Pérou. On y voit surtout apparaître le type cuivreux (voir plus loin).

En *Europe*, on connaît à Schemnitz (Hongrie) des gisements analogues à ceux du Nouveau-Monde, intercalés dans des diorites, des andisites, des rhyolites, des tufs de roche éruptive, avec filons de quartz auro-argentifères. Il y a eu quelques énormes filons analogues aux filons américains. Ce sont des filons-brèches très typiques. Comme la minéralisation a peu à peu gagné à droite et à gauche, la largeur des filons paraît énorme. Le Spitalez-gang (Sp. fig. 96) a été reconnu sur 8 km. de longueur. On peut citer aussi le Grünergang (Gr.) le Stephangang (St.). Ces filons contiennent de la pyrite aurifère; on y voit l'association de l'Argent avec le Manganèse, très typique des gisements du Montana.

2° *Filons cupro-argentifères.*

Dans le *Montana*, il existe un système de filons d'argent, de cuivre et d'or,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

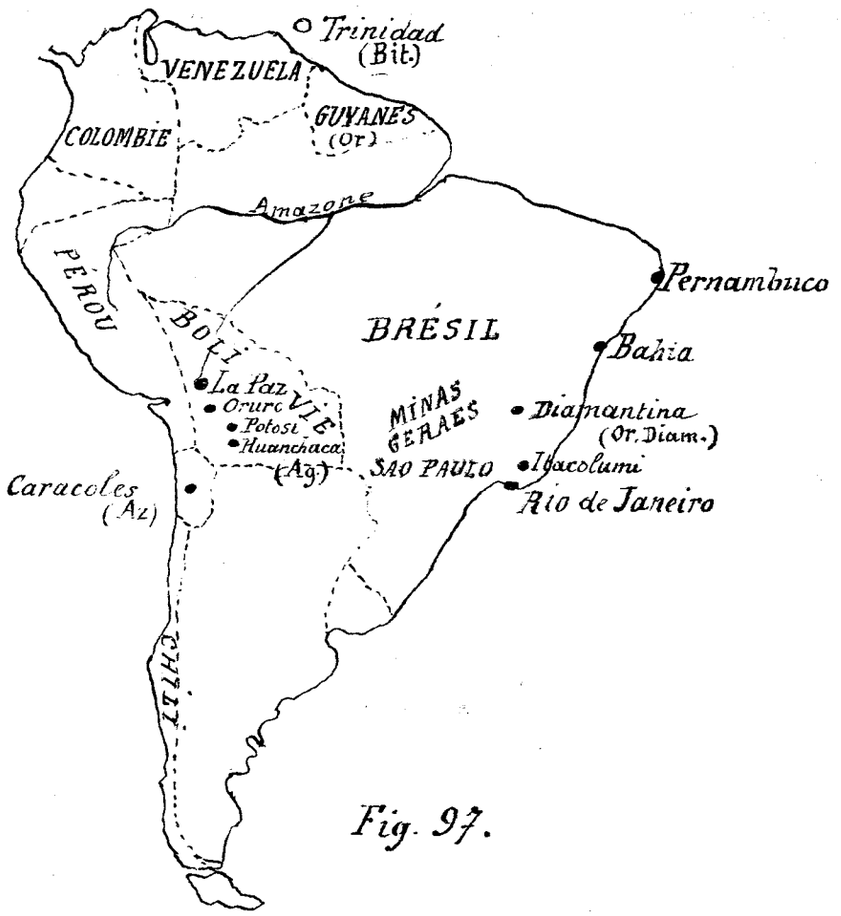


Fig. 97.

Carte minière de l'Amérique du Sud.

fournissant des minerais traitables par la fusion ou l'amalgamation.

Les mines de l'Arizona et du Nouveau-Mexique restent dans ce type. Ce type est surtout dominant dans l'Amérique du Sud.

Les plaines cultivables du bassin de l'Amazone et de l'Argentine ne possèdent pas de minerais.

Les massifs de l'Est, (Brésil, Guyane,) contiennent des minerais aurifères en imprégnations diffuses dans une plateforme primitive.

A l'Ouest, se trouve une zône plissée d'âge tertiaire, se reliant aux plissements de l'Amérique du Nord. Des filons tertiaires très riches s'y rencontrent en Colombie, en Bolivie, dans le Chili et dans une partie du Pérou. Là se trouvent, sur le haut plateau, les grandes mines d'Etain, Bismuth, etc, avec d'énormes richesses en argent qui disparaissent en profondeur (Huanchaca, Potosi, etc.) pour faire place à des minerais de cuivre, bismuth et étain.

La mine de Huanchaca se trouve dans des andésites et des trachytes. Le filon principal (3 m.) est formé de cuivres gris argentifères avec galène, stibine, blende; on y trouve d'ailleurs une série de métaux rares (germanium, gallium, indium, etc.)

La mine de Chañarcillo (Chili) est constituée par un filon traversant des alternances de calcaires et de roches éruptives.

Au-dessous des premières roches éruptives, on a trouvé des minerais

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

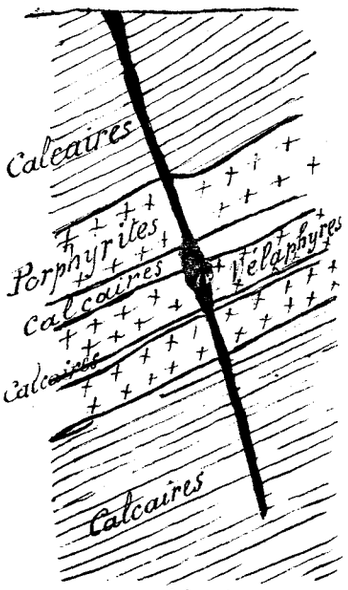


Fig 98.

Coupe schématique du principal filon de Chañarcillo, (Chili).

extrêmement riches. Au passage des roches éruptives, il n'y avait plus trace d'argent ; le passage d'une nouvelle bande calcaire a fourni encore de fortes teneurs en argent ; en profondeur, la teneur a diminué d'une façon très notable.

3° Filons cobalto-argentifères.

Cette association, représentée dans un certain nombre de mines, a pris récemment un grand développement industriel.

Dans la région de *Freiberg*, ce type est très développé. Aux environs de Joachimsthal, il s'associe à l'Urane, les parties altérées s'enrichissent des trois métaux : Ag, Co, Ur.

En France, la mine de *Chalanches* (Isère) est un type de cette sorte de filons. On a exploité des minerais de cobalt et nickel arsenicaux, des terres ocreuses argentifères, tous produits de remaniement ; en profondeur, on a trouvé des minerais sulfurés avec carbonate de manganèse. Ces filons sont récents ; ils traversent le Jurassique et sont probablement d'âge tertiaire.

A *Sainte-Marie-aux-Mines* et à *Giromagny*, des gisements analogues ont été exploités activement du X^e^ au XVII^e^ s. (vers 1510, ils occupaient 1500 ouvriers.) Depuis, repris maintes fois, ils n'ont plus donné de résultats : On y a trouvé de l'argent natif, de l'Argent rouge, associé à du Cobalt, à du Bismuth, etc.

En *Espagne*, la mine de Guadalcanal a eu une grande prospérité vers 1550. On y trouvait des pyrites cobaltifères, imprégnées d'argent sulfuré et d'argent rouge, surtout concentrés au croisement de certains filons. La gangue était barytique. Abandonnée au moment de la découverte du Nouveau-Monde, elle n'a pu être reprise avec succès jusqu'ici.

Enfin dans l'Ontario, Canada, le « *district de Cobalt* » a actuellement un développement énorme ; en traçant la ligne de chemin de fer, les ouvriers ont trouvé des filons d'argent natif. On en a tiré des minerais valant 4 et 5000 fr. la tonne. Les découvertes s'y sont multipliées ; il y en a encore, probablement, à faire plus au Nord.

Le gisement se présente sous la forme d'innombrables fractures très minces ; on sait peu ce qui se passe en profondeur ; mais il semble, d'après la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

baisse de la production, que les minerais ont tendance à s'appauvrir et à disparaître en profondeur comme dans les districts analogues de l'Europe.

4° *Filons à gangue de calcite.* — Dans beaucoup de cas ils semblent dûs à des remaniements.

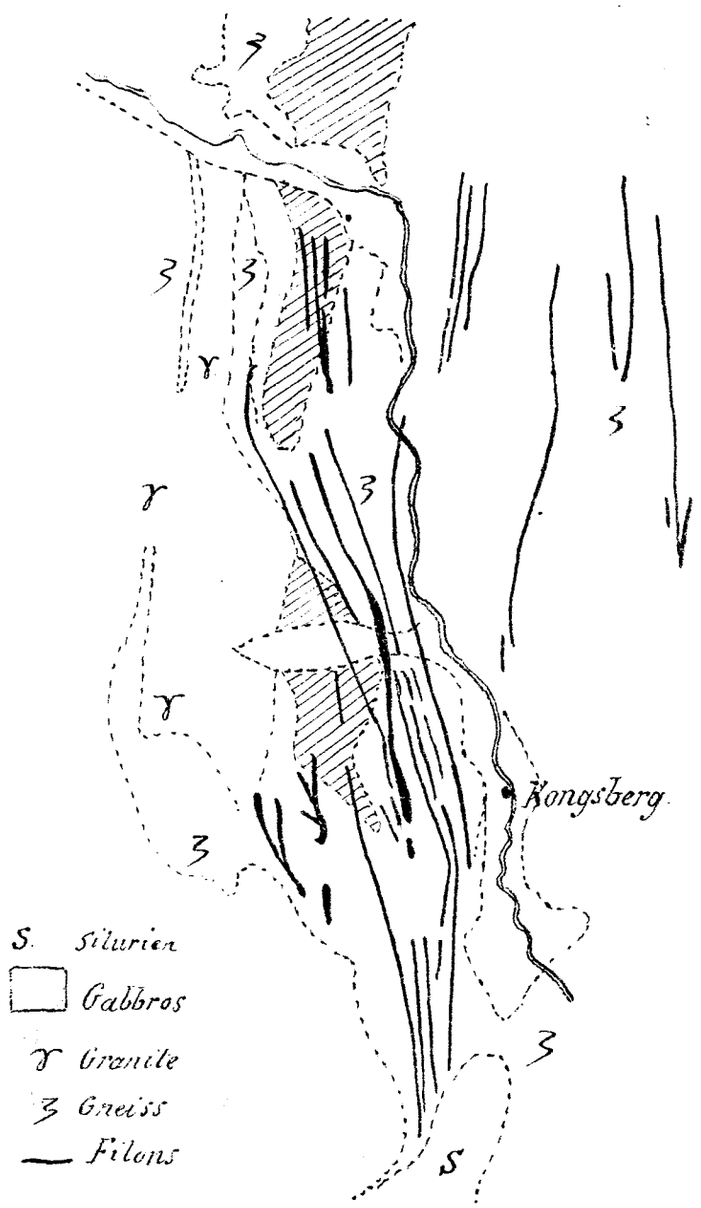


Fig. 99.

Carte géologique schématique de la région de Kongsberg (Norwège).

Cependant le filon de Kongsberg paraît primitif. Les veines y sont extrêmement minces (moins de 1 cm.) craquelant un massif de granites de gabbros et ne s'enrichissant qu'à l'intersection de zônes pyriteuses. Cette région paraît avoir été plissée à l'époque calédonienne. Il y a eu des phénomènes de laminage, déterminant des zônes broyées et des phénomènes de dynamo-métamorphisme traversant tous les terrains et ayant des largeurs variables. De petits filons perpendiculaires s'enrichissent au contact de ces zônes; aussi suit-on, non pas les filons, mais ces fahlbandes. On y reconnaît au toucher les veines d'argent natif dans de grandes chambres au croisement des filons et des fahlbandes. Le minerai est constitué par des sulfures complexes avec argent natif, argent sulfuré, calcite. Il faut ajouter la présence d'éléments hydrocarburés, qui paraissent avoir joué un rôle dans la précipitation de l'argent; car seules les calcites bitumineuses sont argentifères. Le bitume est parfois moulé par des cristaux de calcite. L'argent natif et l'argent sulfuré sont les éléments principaux; ils sont accompagnés de galène, blende, mispickel, fluorine.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Ces gisements ont continué avec les mêmes caractères jusqu'à de grandes profondeurs (700m), de sorte que les phénomènes d'altération sont difficiles à invoquer. Dans ce cas il y a eu des alternances de zônes riches et de zônes pauvres. Il y aurait eu là deux phénomènes consécutifs :

1° Les cristaux d'argent natif semblent avoir poussé sur le sulfure et résultent manifestement de sa réduction. Celle-ci peut être plus ou moins avancée.

2° Il a pu y avoir sulfuration ultérieure ; car souvent l'Argent natif se trouve à l'intérieur recouvert par une couche de sulfure d'argent.

L'ordre de succession est net :

Argent sulfuré. Quartz (veine ancienne).
Fluorine, Barytine, Argent natif.
Calcite (veine récente ou remaniement).
On trouve de plus une certaine quantité d'Or.

L'origine du gisement paraît dû à une cémentation, à une précipitation sous l'influence des pyrites. On a pensé aussi que l'argent serait dû à la sécrétion latérale des pyrites.

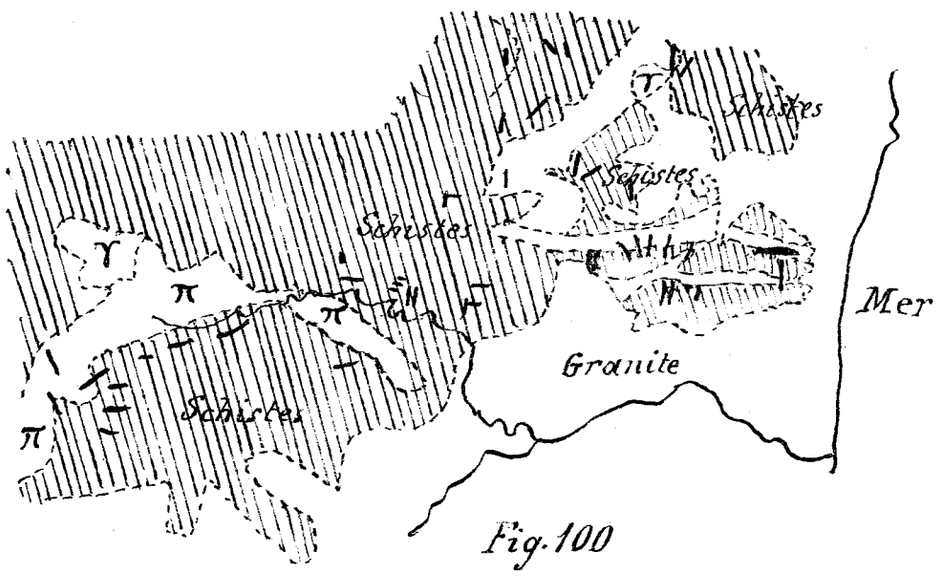


Fig. 100

Carte géologique schématique de Sarrabus (Sardaigne).

Cette théorie est actuellement à peu près abandonnée. On suppose que l'argent a pu arriver à l'état de carbonate d'argent.

Le gisement de Sarrabus (Sud-Est de la Sardaigne) a eu vers 1870-1890 une période de prospérité. Il y a un système de filons, avec intercalation de quartzite qui arrêtent les eaux de circulation.

Les filons métallifères arrivent à la rencontre des porphyres et s'y perdent ; mais on les retrouve à la sortie des porphyres.

Ils contiennent une forte proportion de fluorine avec calcite, barytine, galène et dans la partie haute : sulfures d'argent et argent natif. On constate, ici,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

encore, que l'argent natif résulte de la réduction du sulfure d'argent ; les filaments d'argent natif sont engagés dans la calcite, ce qui prouve que cette réduction s'est faite à une époque assez ancienne. On y a constaté l'influence réductrice des parcelles charbonneuses, contenues dans certains schistes.

En arrivant, en profondeur, au dessous du niveau hydrostatique, la minéralisation a changé brusquement ; les minerais d'argent ont disparu ; on a trouvé de la galène argentifère ; puis cette galène elle-même a disparu et la mine s'est épuisée.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Mercure.

Usages.

Pendant longtemps, le Mercure a eu comme application principale l'amalgamation des minerais d'or. Mais peu à peu l'amalgamation cède la place à la cyanuration et à d'autres procédés.

Une autre application du Mercure est la fabrication du vermillon.

Les autres emplois du Mercure (chimie, etc...) sont assez restreints.

Statistiques

Fait très rare, la consommation du Mercure tend à diminuer; en 1889 et en 1909, elle est exactement la même : 3900 tonnes.

Les gisements sont peu nombreux dans le monde : Almaden (Espagne), Idria, Monte-Amiata (Italie), Californie, Mexique, etc....

Le district d'*Almaden* (Espagne) a de beaucoup la supériorité, mais sa production est en décroissance.

1890 ..... 1800 t.

1911 ..... 1393 t.

Le centre d'*Idria* découvert en 1490, a été exploité sans interruption, bien qu'on l'ait cru épuisé à une certaine époque. Il y a eu depuis 20 ans une légère augmentation à cause de l'adjonction de petites mines voisines.

vers 1880 ..... 550 t.

1910 ..... 637 t.

Le centre de Monte Amiata, s'est beaucoup développé depuis 20 ans. Il y a là une série de petites mines, peu importantes mais nombreuses.

1884 ..... 260 t.

1910 ..... 893 t.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Les gisements de *Californie* ont été découverts vers 1840 au moment de l'annexion du pays par les États-Unis. Mais leur développement ne date que de 1870; ils ont produit 3000 tonnes en un an, faisant tomber les cours de moitié; ils se sont épuisés progressivement; leur production a baissé à 400-500 t; actuellement ils fournissent 600 tonnes environ.

Le reste de la production est fourni par le *Mexique* (200 t. en 1910) par la *Russie* (Nikitowka, dans le Bassin du Donetz; 50 t. en 1910); par la *Hongrie* (50 à 60 t.)

Au point de vue historique, on peut citer la mine de *Huanavelica* au Pérou qui a fourni tout le Mercure nécessaire à l'amalgamation dans l'Amérique du Sud et celui de *Kouei-tchéou*, au Sud de la *Chine* qui a alimenté toutes les fabrications de vermillon de Chine; les gisements, reconnus récemment par les Européens, paraissent épuisés.

La production actuelle (1909) du Mercure est donc:

Espagne	1393 t.
États-Unis	713
Italie	771
Autriche	637
Mexique	200
Hongrie	80
Russie	50
Production mondiale	3894

En résumé, les points où l'on exploite le Mercure sont très restreints et Almaden a fourni depuis l'antiquité presque la moitié du Mercure produit.

Géologie

Les gisements de Mercure sont faciles à reconnaître à cause de la présence du cinabre rouge.

Ils se trouvent presque tous sur des dislocations d'âge tertiaire. Almaden seul fait exception, au moins en apparence.

D'autre part le Mercure est localisé sur une série de petites fractures;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

il y forme des enduits minces dans des interstices de forme très variée. A Almaden, il s'agit d'un grès poreux dont tous les interstices sont imprégnés de cinabre. Ailleurs ce sont des marnes et des schistes imprégnés de cinabre.

La plupart des gisements sont liés à la présence d'hydrocarbures qui paraissent avoir joué le rôle de réducteurs.

Enfin le Mercure se trouve dans la plupart des sources thermales actuelles. On constate souvent sa remise en mouvement, à des époques contemporaines. En Toscane, des mines préhistoriques montrent d'anciens boisages et même un squelette, couverts de cinabre.

Il en résulte que, contrairement à d'autres métaux, le Mercure a dû monter jusqu'à la surface de la croûte terrestre. Il n'a été précipité que dans des fissures minces et à la faveur d'hydrocarbures.

Seul le gîte d'Almaden est encaissé dans des schistes siluriens, sans qu'on sache rien sur son âge.

Gisement d'Almaden. — Dans une zône plissée de la Meseta espagnole se trouvent des schistes avec quartzites intercalés. Un phénomène postérieur a amené du Mercure qui a imprégné les quartzites seulement et pas du tout les schistes. On a donc affaire à des quartzites cinabrifères imprégnées dans toute leur masse. Il en résulte une continuité exceptionnelle pour un gisement de Mercure.

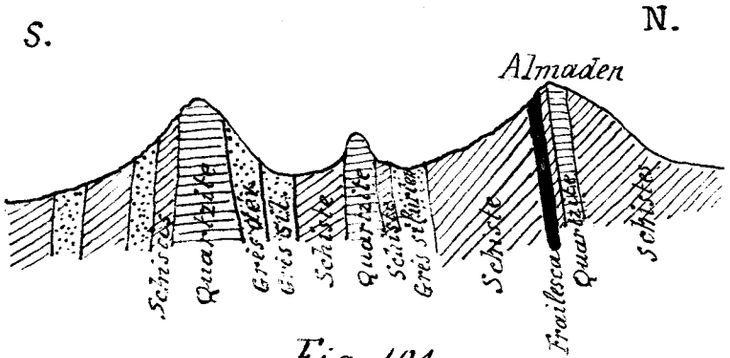


Fig. 101

Coupe géologique de la région d'Almaden.

D'ailleurs certains bancs de quartzite ont résisté à l'imprégnation de sorte que les bancs de quartzite cinabrifère ont l'aspect de filons.

Le cinabre est la seule substance métallique qui soit présente. La teneur est variable : on a trouvé jusqu'à 20% ; la teneur normale des minerais riches est de 6 à 7%. Des remaniements ont donné des stalactites de cinabre, etc...

Il y a en Espagne quelques autres gisements. A Mieres (Oviedo) le calcaire carbonifère est imprégné de réalgar, orpiment, cinabre.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En *France*, il y a eu une mine de mercure, exploitée vers 1740, à Menildot (Manche). On a fait des recherches plus récentes à la Mure (Isère).

En *Algérie*, on a signalé du cinabre en un certain nombre de points; il est associé à de la galène, de la blende, de la stibine.

Le gisement d'*Idria* (Carniole) est nettement d'âge tertiaire. Il se trouve dans une formation triasique recouverte par du Carbonifère charrié. Le Mercure imprègne certaines couches, chargées d'hydrocarbures et se trouve en fissures dans le Carbonifère. Il en résulte un gisement très complexe avec une série d'imprégnations. Il y a là comme minerais des types très variables: schistes cinabrifères, dolomies ou calcaires avec innombrables fissures, imprégnées de cinabre.



Fig. 102.

Coupe du gîte d'Idria (Carniole)

Des phénomènes de remises en mouvement ont donné les minerais particulièrement riches: le Stahlerz a 70% de Hg, le minerai de brique ou Ziegelerz, des concrétions phosphatées (Korallenerz) où s'est concentré le cinabre (2 à 3 %) et où l'on trouve un peu de bitume.

Dans la même région, il existe une série de petites mines: *Vallalta* (Vénétie), *Santa-Anna* (Carniole) dans un calcaire carbonifère fissuré avec cinabre et bitume, *Littai* (Carniole) où l'on trouve de la galène et du cinabre avec un grand développement de sidérose, résultant de l'altération de la pyrite. Le gisement se présentait sous forme d'un filon-couche dans des grauwackes carbonifères.

Tous ces gisements sont en relation avec des fractures ayant intéressé le Crétacé et même la base du Tertiaire; ils sont donc nettement d'âge tertiaire.

Gîtes de Toscane. — Le *Monte-Amiata* est un massif volcanique d'âge tertiaire; autour de lui se trouve une série de terrains sédimentaires très fracturés; des horsts de Lias, Trias, terrains anciens, surgissent au milieu de l'Eocène. Sur tout le pourtour, on trouve des associations de stibine et de cinabre, qui ont pris des aspects variables suivant la nature des terrains rencontrés. Les *pietraniles* de *Cornacchino* sont des bancs extrêmement minces de matières siliceuses, blanches, avec petites veines de cinabre rouge, facile à trier.

A *Siele* (Toscane) on a trouvé des marnes imprégnées de cinabre formant

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

une série de veines. En profondeur, on a rencontré une grande couche (*diga*) avec argile cinabrifère et agglomérations de Mercure. Ce cinabre est associé avec de la calcite et un peu de pyrite.

A *Abbadia San Salvatore* (Toscane) on a trouvé sur place un remaniement très riche, grande poche où s'étaient accumulés des éboulis, des débris végétaux, avec tuun très forte de cinabre.

Gisements de Californie. — Il y a toute une zône mercurielle au N. et au S. de San Francisco intercalée entre la zône des mines d'or. Elle s'étend sur 250 kil. depuis Sulphur Bank jusqu'à New-Idria.

Les terrains d'âge divers (jusqu'au Crétacé supérieur) ont subi un métamorphisme intense. Il s'y trouve des imprégnations mercurielles.

Vers 1850 on a trouvé à Sulphur-Bank une croûte de cuivre natif; on l'a percée, des sources chaudes se sont fait jour, amenant du cinabre rouge. Plus au N.E. les sources de Steambotsprings sont cinabrifères.

Plus au sud, les imprégnations cinabrifères se trouvent tantôt dans des calcaires, tantôt dans des serpentines (New Almaden); elles constituent un véritable stockwerck, pincé entre deux filons-failles. Il y a une certaine analogie avec ce qui se passe à Las Cabasses (p. 104) Toutes les fissures sont imprégnées de cinabre avec matière bitumineuse et pyrite; en certains points on a trouvé de grandes chambres, ayant par exemple 90×20×9 m avec des minerais à 25% et même avec 60%.

A *Great-Western*, le cinabre se trouve au contact d'une serpentine et d'un grès.

A *New-Idria* le Mercure imprègne le Néocomien; il est associé avec du Quartz et des matières bitumineuses.

Gîtes divers. — Le gite de *Huanavelica* (Pérou) est très analogue à ceux de Californie, stockwercks disloquant des couches jurassiques; il y a association avec du réalgar et du mispickel. — Les gîtes de *Koueï-tchéou* (Chine) appartiennent à une zône mercurielle très étendue. Les mines de réalgar y sont nombreuses. En Chine, comme en Toscane, on trouve successivement: 1° auréole avec minerais d'Etain et mispickel; — 2° auréole des mines cuivreuses; — 3° auréole où l'on trouve des quantités croissantes de Plomb et Zinc; — 4° apparition de roches microlithiques et de gisements mercuriels.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Or.

Rôle de l'Or.

Pendant très longtemps, l'Or a servi comme bijou et ornement. C'est plus tard seulement qu'il a été utilisé comme monnaie.

L'Or est toujours venu des extrêmes confins des pays civilisés; de l'Italie avant les Romains, puis de la Gaule, de l'Espagne, de la Macédoine (mines du Mont Pangée) de la Phrygie (légende de Crésus et de Mydas), d'Égypte (côtes de la Mer Rouge) aux époques grecque et romaine.

Pendant le Moyen-Age, toutes ces mines étaient épuisées; l'Europe a vécu sur elle-même et a épuisé les stocks anciens d'Or, accumulés depuis l'antiquité.

Au moment de la découverte de l'Amérique, les "conquistadores" ont été à la recherche de l'Or au Mexique, au Chili, en Colombie, au Brésil; ils ont d'ailleurs surtout trouvé de l'Argent.

Jusqu'au 18e siècle, l'Or est surtout venu de l'Amérique.

L'Afrique exporta ensuite des quantités considérables d'Or (probablement plusieurs milliards) venant de la Gold Coast, du Mozambique (c-à-d. de la Rhodesia), de Madagascar.

Les quantités ont diminué progressivement et il y a eu une véritable disette d'Or pendant la première moitié du 19e siècle.

L'Or se perd peu; le frai des monnaies en use de faibles parties; les trésors s'égarent plutôt qu'ils ne disparaissent. Mais l'Inde et les pays limitrophes absorbent de grandes quantités d'Or sous forme de bijoux, etc...; on commence à s'en rendre compte par les statistiques qui d'ailleurs fournissent des minima, une partie des transports des métaux précieux échappent aux statistiques. Cet Or, enfoui dans l'Extrême-Orient, peut d'ailleurs reparaître dans les années de disette.

En 1848, on a constaté qu'il y avait 14 milliards d'Or dans le monde; on en a tiré des mines 21 milliards de 1848 à 1890, et 2 milliards ½ par an actuellement. Vers 1848-1850, on a découvert la Californie et l'Australie; les banques se sont

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

effrayées et ont pensé que l'Or allait diminuer de valeur. La production d'Or a monté rapidement:

1849 . . . . . 135 millions.

1853 . . . . . 800 "

Mais l'Or exploité, alluvionnaire, s'est épuisé très vite et la production de l'Or a diminué jusqu'en 1880 (500 millions).

A partir de 1880, s'est produite la transformation actuelle. Elle est due à plusieurs causes: d'abord au grand mouvement d'expansion coloniale qui n'a pas encore produit tous ses résultats (découverte du Transvaal: 1885-1894, de la Rhodesia; découverte de la Gold Coast dans le Golfe de Guinée; découverte des gîtes de l'Australie occidentale (Coolgardie); reprise des mines de l'Inde vers 1885, en particulier à Mysore. En Amérique, les découvertes d'Or dans les régions extrêmes ont mis en valeur les gîtes des frontières mexicaines et canadiennes, et ceux de l'Alaska.

Dans l'Amérique du Sud on a exploité des mines au Brésil, en Colombie, en Bolivie.

Un second fait est intervenu et n'a pas encore produit tout son effet: c'est la découverte du procédé de la cyanuration. Seul ce procédé a permis l'exploitation du Transvaal; la renaissance des mines d'Or en France et ailleurs est due à ce procédé.

Par suite de ces deux causes, la production de l'Or croît tous les ans; cependant, il y a des traces de fléchissement dans les pays exploités anciennement (l'Australie occidentale, Cripple-Creek); l'Alaska est épuisé en tant que placer. En Sibérie occidentale et dans l'Oural on a également une diminution de la production. Enfin, même dans le Transvaal, toutes les anciennes mines fléchissent; d'ici 25-30 ans les grands champs d'Or auront baissé dans une grande proportion. Pendant quelques temps, la mise en œuvre de nouveaux champs d'Or contrebalancera la baisse des anciens. Ainsi le *Canada* se développe par tranches successives à partir du Sud; il devient le 5e ou 6e pays producteur d'Or dans le monde. La transformation minière de la *Chine* permettra la reprise de champs d'Or, très anciennement connus. *l'Amérique du Sud* et le *Mexique* interviendront également; déjà le Mexique produit 36.000 kg. d'Or, exploités par des mines organisées à l'américaine. Les gîtes de la Colombie, etc... auront un grand développement quand la "paix américaine" permettra de les mettre en œuvre.

Les courbes de production resteront donc sensiblement horizontales pendant 20-25 ans; après il est probable qu'elles baisseront franchement.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Au point de vue économique et social il n'y a donc pas lieu de s'effrayer outre mesure de cet afflux d'Or énorme, mais momentané.

Usages.

La consommation de métaux précieux pour l'orfèvrerie et la bijouterie est plus considérable que celle utilisée pour la monnaie. Une forte proportion d'Or est empruntée aux monnaies et aux anciens bijoux et est refondue; aussi est-il difficile d'avoir des statistiques exactes. Cependant il est probable que ces usages absorbent jusqu'à 35 et 40%, quelquefois même 70% de la consommation actuelle; cela tient à des divergences d'appréciation sur les statistiques et aussi aux variations de la consommation; la consommation diminue les années de crise d'une façon formidable. Une quantité d'Or notable (25 à 30%) va se perdre dans les pays d'Orient.

La fabrication des monnaies n'absorbe que 25 à 30% de la consommation; elle est d'ailleurs variable suivant les années. On a frappé beaucoup de monnaie d'Or dans ces dernières années, à cause du développement du commerce et surtout à cause de l'adoption de la monnaie d'Or par les pays neufs.

On peut se rendre compte que la disparition de la monnaie d'Or est importante et rapide. Pour cela dans un pays donné et à un jour donné, on compte les pièces d'or en circulation et on prend le nombre de pièces de diverses émissions; on se rend compte de la proportion dans laquelle les pièces de ces diverses émissions circulent à un jour donné. La frappe de l'Or de 1885, par exemple, a presque entièrement disparu; elle a été drainée par la fabrication des bijoux, par les pays étrangers, etc....

En supposant que la dernière frappe est restée intégralement en circulation, on peut établir, pour chacune des frappes antérieures, le coefficient de survie, c'est-à-dire le nombre relatif des pièces restant en circulation.

On se rend compte par ce procédé des besoins d'Or annuels.

La hausse générale des prix n'est pas due principalement, comme on le répète souvent, à l'afflux de l'Or (2 milliards ½ par an); il ne semble pas que ce soit là la cause essentielle; toute la quantité d'Or sortie de terre jusqu'à ces toutes dernières années a été absorbée et au-delà; on a vécu sur le stock d'Or accumulé dans le passé.

Le développement des établissements de crédit et l'adoption des chèques pour les

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

paiements diminuera certainement les besoins d'Or dans l'avenir.

Statistiques.

En 1913 on a produit dans le monde 696.164 Kg. d'Or valant 2 milliards 300 millions env.
En 1909, on avait produit 689.000 Kil, en 1912, 713.867 Kil.
Sur ces chiffres, la production se répartit ainsi par pays (1913):

Transvaal [1]	274.000 Kg. (env. 35%).	
États-Unis	134.000	
Australie	80.000	
Russie	34.000	
Mexique	25.000	
Rhodésia	21.000	
Inde	17.000	
Canada	25.000	
Chine	6.000	
France et Colonies	10.200	4.500 de Guyane 3.000 de Madagascar 2.700 de France continentale
Japon	6.600	
Côte d'Or africaine	5.600	
Colombie	4.660	
Hongrie	2.900	
Corée	4.300	

Répartition des gisements d'Or dans le monde.

Europe. — Il existe un certain nombre de gisements d'Or en Transylvanie (Schemnitz). A titre historique on peut citer aussi les Alpes (Mont Rose et Simplon; Région des Tauern, mines fermées actuellement), les alluvions du Piémont. — Laveries d'Or du Rhin (il y avait encore 1500 orpailleurs, il y a un demi-siècle), les Pouaingues aurifères sur lesquels est bâtie la ville de Grenade. Les mines du Mont Pangée

[1] Ce chiffre est remarquable car il provient d'un territoire qui n'a que 40 Kilomètres environ de côté.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

en Macédoine sont actuellement épuisées. En France, nous assistons depuis peu à une renaissance aurifère.

Asie. — Le groupe de l'Oural, très ancien, est à peu près complètement épuisé. Le district de l'Iénisséi, très important il y a 15 ans, a beaucoup diminué; le groupe de la Léna, au contraire, a pris un grand développement récent, de même celui de la Transbaïkalie. La Mandchourie et la Corée (bassin de l'Amour) sont très riches en Or. Au Japon (île de Sado), il y a des exploitations très anciennes. Dans le Haut Thibet il y a quelques laveries [illegible]. Dans l'Inde, le Mysore a pris un grand développement. Les mines d'Or de l'ancienne Egypte se trouvaient sur la côte de la mer Rouge.

Amérique du Nord. — La Colombie britannique, les États-Unis l'Alaska, le Canada jouent un rôle considérable.

La région californienne est encore exploitée; son prolongement au Mexique est devenu très important.

Amérique du Sud. — Les premières découvertes ont été faites dans l'isthme de Panama, puis dans le Vénézuela et les Guyanes. Les mines les plus riches se trouvent en Bolivie, déjà mises en œuvre par les indigènes. Au Brésil, il y a eu un grand développement des mines d'Ouro-Preto.

Afrique. — Le groupe de l'Abyssinie a exporté autrefois de fortes quantités d'Or. Les massifs du Fouta-Djalon et du pays de Kong ont, dans les derniers temps surtout, donné des espérances. Le pays des Achantis et la Gold Coast ont fourni de meilleurs résultats malgré des déboires. Le Witwatersrand produit le 1/3 de la production mondiale. La Rhodésia a été un district important. Le Katanga commence à entrer en ligne. Madagascar fournit une certaine quantité d'Or.

Australie. — Dans le New-South-Wales et l'état de Victoria se trouvent les plus anciennes mines (800-900m de profondeur). Le Queensland n'a jamais produit de résultats comparables. Vers 1891 on a mis en valeur les mines de la côte ouest de la Nouvelle-Zélande; elles ont produit peu de résultats; dans l'île du Nord, à Otaki, on a trouvé quelques gisements.

Enfin toute l'Australie occidentale (Coolgardie) a donné pendant plusieurs années des résultats merveilleux; sa production tend à baisser.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Géologie

En raison même de sa valeur (3.300 fr. le kilogr.) l'Or est exploité dans des conditions spéciales. Avec des minerais contenant 6 à 7 gr. d'Or par tonne dans une roche, 0.50 d'Or par mètre cube dans les alluvions, l'exploitation est possible au point de vue industriel.

Aussi les minerais d'Or proprement dits jouent-ils un rôle insignifiant. 80% de la production d'Or vient de minerais où l'Or est absolument invisible.

Minerais. — L'Or natif est le plus important. On trouve quelquefois des minerais très riches avec de véritables efflorescences d'Or. Ces minerais donnent l'illusion d'une extrême richesse; ils disparaissent d'ordinaire rapidement en profondeur.

Les *tellurures d'Or* complexes, calavérites, sylvanites, avec argent, plomb, antimoine, persistent en profondeur. Considérés autrefois comme des curiosités, ils ont constitué les très importants districts de Cripple-Creek et de l'Australie occidentale.

On connaît également des *minerais séléniés* extrêmement difficiles à traiter (Iles Célèbes).

L'association de l'Or avec le Soufre est très fréquente (pyrites aurifères). L'Or y est à l'état natif, en surface; en profondeur, il y a une association intime, sur la nature de laquelle on n'est pas fixé.

L'association avec l'*Arsenic* (mispickel) est fréquente. Ces minerais, longtemps négligés par ce qu'ils étaient absolument impossibles à traiter, constituent aujourd'hui une grande ressource.

L'association avec l'*Antimoine* est également fréquente; elle a été négligée jusque dans ces dernières années.

Les autres corps du même groupe, *Bismuth, Molybdène*, ont également des affinités avec l'Or. On connaît même l'Or associé avec des minerais d'*Etain*.

L'Or est surtout en relation avec des roches éruptives acides, aussi ne rencontre-t-on guère de ségrégations où le métal s'est concentré, ce type paraissant spécial aux roches basiques; seuls quelques gabbros, norites etc... contiennent des pyrites aurifères.

Au contraire à la périphérie des roches acides il existe des cristallisations pouvant contenir de l'Or. Ainsi on a exploité dans des gisements du type Banat des chalcopyrites aurifères.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Gisements en relation directe avec des roches acides.

Dans ce cas l'Or est englobé dans les granulites, pegmatites, quartz, qui dérivent les uns des autres.

On peut citer l'association intime, à Berezowsk, de l'Or et de Quartz pyriteux. Dans les granulites de Sibérie, le même fait s'observe.

On peut rattacher à ce mode de formation le cas où l'Or existe dans les gneiss. Il y a eu introduction d'Or dans les feldspaths; l'Or fait partie intégrante de la roche. (Guyane, Madagascar).

L'Or est également associé à la série des roches du type diabase ou microgranite; dans ce cas, il est en relation avec des stibines (Massif Central).

L'Or peut être associé à des roches plus superficielles encore, à des roches microlithiques. Ainsi les andésites, les dacites, etc.... peuvent en contenir (Japon, Ouest-Américain, etc...)

De cette diversité de nature de gisements, résulte l'association de l'Or avec des métaux très différents. Dans les gisements granitiques, on le rencontre avec l'Etain et avec l'Arsenic. — Dans le type *microgreisen*, on a des types de stibines aurifères et des types plombo-argentifères. — Enfin, l'Or peut se trouver avec le Mercure dans les roches de formation plus récente.

L'Or peut donc se rencontrer dans les phases diverses d'une même formation géologique. On a pensé autrefois (Murchison) que l'Or était toujours d'âge primaire; depuis, on a trouvé l'Or dans de nombreux filons d'âge tertiaire. Actuellement, on croit que dans chacune des phases de supermétallisation, on trouve de l'Or qui a pu monter à des hauteurs diverses dans la croûte terrestre.

Les quantités d'Or contenues à l'état d'inclusions dans les roches précitées sont trop faibles pour donner lieu à des exploitations; mais elles sont l'origine première des placers et des alluvions.

Gisements d'imprégnations diffuses.

Il existe de nombreuses régions où des gneiss, micaschistes, etc.... englobent des formations aurifères. C'est particulièrement le cas des anciennes plateformes primitives qui, depuis de nombreuses périodes géologiques, n'ont pas subi de plissements, et où le Carbonifère, le Dévonien, le Silurien, forment une masse sensiblement horizontale et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

dépourvue de tout gisement métallifère. Mais le soubasement contient souvent des imprégnations aurifères. Elles avaient joué un grand rôle indirect dans l'industrie de l'Or. On constate sur de grandes étendues des pénétrations de roches anciennes par des formations pyriteuses contenant des traces d'Or. Quand on cherche à remonter des alluvions aux gisements originels, on ne trouve aucun point où il y ait des concentrations importantes et par suite d'exploitations possibles; il y a dans la roche ancienne des teneurs de quelques grammes, parfois de quelques centigrammes d'Or à la tonne. Mais, depuis l'époque cambrienne, ces pays ont souvent subi d'importantes altérations continentales qui ont concentré l'Or à la surface et produit des points d'enrichissement chimique. De plus, des remaniements mécaniques ont déterminé des altérations qui se sont poursuivies dans certaines régions depuis le Crétacé jusqu'à nos jours. De ces remises en mouvement successives, résulte une grande richesse dans les alluvions.

Tel est le cas de la Sibérie, du Canada, de l'Afrique centrale et d'une partie de l'Afrique australe; c'est le cas aussi de Madagascar, de la Guyanne, du Brésil.

Cependant en certains points, on a pu trouver des concentrations telles qu'on a pu les exploiter.

En Sibérie, les premières explorations se sont produites dans le sens de l'Ouest vers l'Est; on a atteint l'Oural, puis l'Obi, puis l'Iénisséi; enfin la Lena.

Dans la région de l'*Iénisséi*, il y a des schistes argileux, des quartzites, ayant l'aspect de Précambrien; le tout est recouvert en discordance par du Silurien fossilifère. Dans ces terrains, on trouve des veinules quartzeuses, soit transversales, soit intercalées sous forme de filons-couches dans les schistes; elles contiennent des pyrites aurifères.

Dans les points les plus riches, on a remarqué une association de l'Or avec les tourmalines; la teneur en Or des gneiss est de l'ordre de 10^{-5} grammes; cependant aucune analyse ne se fait sans donner des traces d'Or.

Dans la région de la *Lena*, l'Or est également associé à de la pyrite. Un traitement mécanique des gneiss permettant d'isoler les pyrites, on a trouvé dans ces pyrites 60 grammes d'Or à la tonne quelquefois même 600 gr. Toutes ces formations ont été remaniées à l'état d'alluvions, souvent très anciennes, recouvertes par exemple par des basaltes.

Des formations analogues existent dans l'*Inde* : elles sont actuellement abandonnées.

Dans l'*Afrique du Sud*, il existe 2 groupes importants de gisements, le Witwatersrand et le district de Lydenburg, etc.....

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Ceux-ci ont été les premiers découverts; ils ont donné d'excellents résultats (Simba); on a trouvé des veines de quartz, à allure de filons, qui renferment de l'Or ayant subi une altération superficielle intense. On a donc eu de belles cristallisations d'Or; ce sont des minerais très inconstants mais donnant localement des teneurs élevées.

Les mêmes formations se trouvent plus au Nord dans l'hinterland du Mozambique, dans la Rhodésia, etc.... On y a trouvé, lors de la découverte du pays, de exploitations anciennes, qui avaient été très importantes; de là venaient certainement l'Or que de temps immémorial les indigènes apportaient à la côte.

Les gisements de la Rhodésia, malgré des déboires, ont fourni quelques bons résultats.

Des formations analogues se rencontrent souvent quand des massifs anciens sont mis au jour, par exemple dans les Alpes. La région du Mont-Rose a fourni les éléments des placers de la Haute-Italie; des veines en place ont été trouvées à Val-Toppa et ont fait l'objet d'exploitations satisfaisantes. Des coupes faites de 50 en 50m montrent l'existence de veines interstratifiées, de faible longueur, très irrégulières, toujours destinées à disparaître. Elles contiennent de la pyrite aurifère et du mispickel. Les teneurs sont faibles (moyenne d'environ 15fr-13fr à la tonne, dont on retirait 85%, soit 35 fr. d'Or à la tonne).

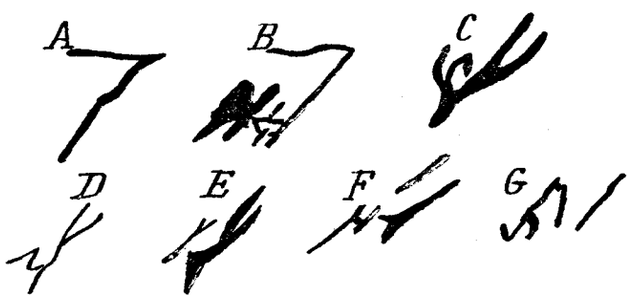


Fig. 103.

Coupes successives (50 en 50m.) des veines aurifères du Val-Toppa.

Il y a dans les Alpes un très grand nombre d'autres gisements; à Gondo (descente du Simplon), on trouve des gneiss, des schistes avec veines interstratifiées de pyrite de cuivre, de galène, contenant un peu d'Or; mais ces gisements sont généralement à la limite d'exploitabilité actuelle; ils pourront par suite devenir intéressants quand celle-ci baissera.

Dans les Hohe-Tauern, il y a une série de mines, exploitées activement au 15e siècle, reprises parfois de nos jours.

Ce type de gisement aurifère, dans les roches anciennes, est très développé dans toutes les Guyanes où il est l'origine de tout l'Or alluvionnaire; on n'a guère trouvé de gisements exploitables, sauf dans le contesté franco-brésilien où l'Or paraît épuisé; il y a

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

là des roches cristallophylliennes très analogues à celles du Massif Central de la France, avec veines de pyrites aurifères intercalées.

Gîte du Callao (Vénézuela). — Le gisement du Callao est aussi de ce type; il a été découvert en 1884 et a eu un moment de richesse exceptionnelle.

Ce gîte s'est présenté sous la forme d'une lentille columnaire de minerais intercalée dans les schistes métamorphiques. Les courbes de niveau de cette lentille ont été tracées sur la fig. 104. En son centre et en quelque sorte suivant le talweg du milieu de la lentille on trouve les parties les plus riches; il est probable que leur origine est due à un phénomène d'enrichissement postérieur. On a trouvé qu'il existait des quartz aurifères en surface, des pyrites en profondeur.

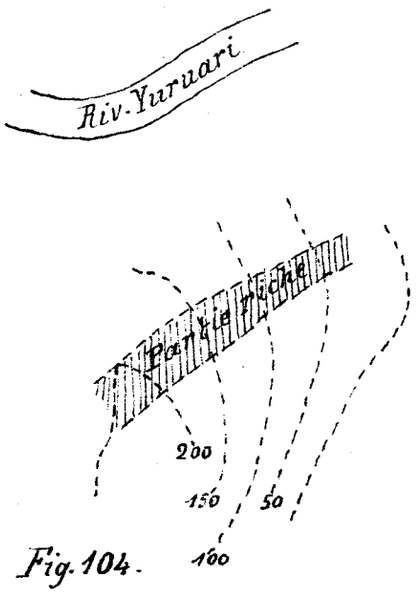


Fig. 104.

Schéma du gisement du Callao (Vénézuela)

Aux Etats-Unis, dans le *Dakota*, les *Black-Hills* sont constitués par des micaschistes renfermant des pyrites aurifères. La mine de Homestake fournit de l'Or à un prix de revient extrêmement bas; car elle peut opérer sur des tonnages énormes.

Ce type d'imprégnations diffuses, qui a une grande importance industrielle peut être appelé le type "calédonien"

Faisceau de filons minces.

Ce groupe est également développé dans les régions anciennes et paraît représenter souvent le type ancien, donc profond, des filons aurifères.

Dans les massifs hercyniens, on trouve de grands champs de fractures avec veines aurifères, ayant l'aspect de filons minces et nombreux. Ils sont en relation avec des granulites, des pegmatites, des aplites, et associés à des gisements d'Etain; on y voit quelquefois apparaître un peu de plomb, de cuivre, etc....

Berezowsk est l'une des mines les plus anciennes de l'Oural, exploitée depuis le 15e siècle et à peu près épuisée actuellement.

Il y a là une innombrable quantité de fractures, avec une association de quartz et de mica (greisen). L'Or forme une série de petites craquelures à l'intérieur des filons de granulite (largeur 10 cm en v.; longueur souvent atteignant 10 Kil.) Elles résultent d'une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC



Fig. 105.

Schéma des filons de Berezowsk (Oural).

dislocation mécanique. L'Or y est associé avec de la galène et de la crocoïse.

On peut encore citer dans l'Oural le gisement de *Kotchkar* formé par une série d'innombrables craquelures (5cm à 2m de largeur). On voit le granite, roche encaissante, recoupé par ces fractures. Elles contiennent de la pyrite, de la stibine, du mispickel. C'est l'association typique des minerais connexes avec la granulite.

Dans l'*Inde*, ce type est le seul qui ait donné lieu à des exploitations intenses. Il y a là un énorme massif ancien, n'ayant subi que des mouvements localisés à l'époque silurienne et carbonifère. Le Gondwana s'y est déposé en couches horizontales. Des imprégnations diffuses très nombreuses ont donné lieu vers 1881 à une fièvre de spéculation ayant abouti à un désastre. Cependant le district de Wainad a été exploité fructueusement pendant quelques années; son plan est tout à fait analogue à celui de Berezowsk et de Kotchkar (Oural).

Le champ de fractures de Kolar a été intéressant parcequ'on y a trouvé quelques grandes fractures continues qui ont permis une exploitation durable. On y trouve le remplissage ordinaire: pyrite, pyrrhotine, blende, galène, chalcopyrite, tourmaline.

Ces filons, et notamment le grand filon de Kolar, ont des colonnes d'enrichissement. Le type de filons se retrouve dans une foule de régions: Brésil, Uruguay, Australie orientale.

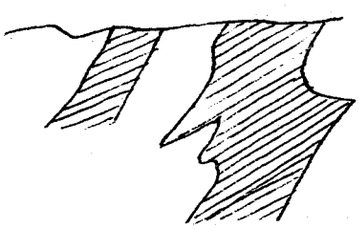


Fig. 106.

Coupe longitudinal du principal filon de Kolar (Champion reef) avec ses colonnes d'enrichissement.

Dans l'*Australie orientale*, on peut leur rattacher des gisements très riches. L'âge des filons y est bien déterminé (milieu du Carbonifère); ils ont été remaniés et ont formé des placers à l'époque crétacée. On a eu là des filons où on est descendu jusqu'à 1200m (Ballarat, Bendigo).

Ces gisements se rencontrent aussi en *Europe*, d'ailleurs avec une moindre importance industrielle. Certains massifs primaires, craquelés au Silurien et au Carbonifère, présentent des gisements aurifères en relation avec de la granulite et même avec de la microgranulite. L'Or se présente comme une sorte d'accident dans le groupe stannifère, il est associé à l'Etain, exceptionnellement au Cuivre, à la Stibine et au Mispickel.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

En France, les mines récentes sont de ce type. La mine de *La Bellière* (Maine-et-Loire) contient du mispickel aurifère, formant des veines encaissées dans les terrains cristallophylliens. La mine de *La Lucette* (Mayenne) a été la première mise en train; elle exploite un filon de stibine avec mispickel et Or; celui-ci se trouve surtout dans le mispickel mais aussi dans la stibine. La mine du *Chatelet*, près Evaux (Creuse) se trouve sur un grand filon de quartz, suivi sur 60 kil. de longueur, probablement de l'âge du Carbonifère moyen; ce grand filon est stérile; mais les petites veines pyriteuses latérales (leaders) ont donné lieu en plusieurs points, par exemple au Chatelet, à des exploitations fructueuses. — *A Bonnac*, on essaye de reprendre de même des mispickels aurifères.

En *Bohême* (Eule) dans le *Pays de Galles*, dans le Nord-Ouest de l'*Espagne*, on connaît également ce type, qu'on peut appeler *hercynien* par opposition au précédent qu'on peut appeler calédonien.

Filons tertiaires

De nature plus superficielle, ils sont constitués par de grandes fractures filoniennes, bréchiformes, avec un ciment auro-argentifère, associé à de la galène abondante. C'est en somme un cas particulier des B.G.P.

A côté de ces grands filons, très larges et très longs, on trouve également des filons coincés en profondeur et en relation avec des roches éruptives, microgrenues ou pétro-siliceuses. Il y a généralement association de l'Or avec des roches sodiques, avec des tellurures, de la fluorine. C'est ce type qui a donné les grands gisements de l'*Ouest-Américain*, de Californie, de Montana, de Arizona, du Mexique, de Panama; de là il suit les deux branchements de la Cordillière sud-américaine.

Cependant vers le *Pérou* et la *Bolivie*, on voit apparaître des types granulitiques plus profonds.

On retrouve ces mêmes types d'âge tertiaire sur tout le *pourtour du Pacifique* : Japon, mer de Behring, Célèbes, Philippines, Sumatra, Australie occidentale.

En Europe, ces gisements sont peu nombreux; mais deux groupes sont bien caractérisés : Transylvanie et groupe du Tatra (Schemnitz).

Les gisements d'*Australie* sont bien datés. Ils se trouvent dans les Etats de Victoria et de New-South-Wales et en Nouvelle-Zélande. Ceux de l'Etat de Victoria (plus de 3000) sont encaissés dans le Silurien et se trouvent dans des conditions variées.

Il y a de grands filons, suivis jusqu'à 1200 et 1300 m de profondeur sans

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

variations notables.

Les gisements de Bendigo sont en selles et se présentent sous la forme de lentilles empilées le long des anticlinaux. Il y en a quelquefois, mais de plus petites le long des synclinaux.

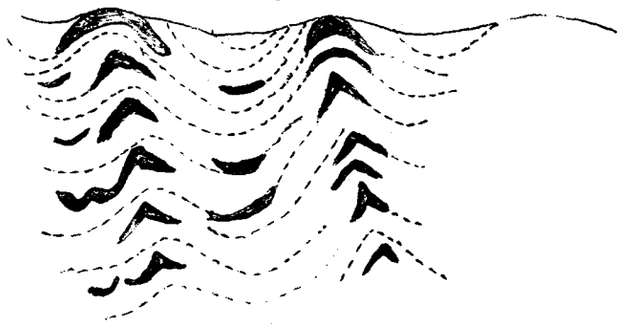


Fig. 107.

Coupe de Bendigo (Australie) montrant des lentilles anticlinales et quelques lentilles synclinales.

On connaît aussi des zônes de broyages de grandes dimensions.

Le remplissage est constitué par du Quartz et de la pyrite aurifère avec un peu de blende et de galène.

Les gisements de Nouvelle-Zélande sont très différents. Ils sont reliés directement aux roches éruptives tertiaires ; dans des dacites et des andésites on a trouvé des veines, quelquefois très riches, mais "patched", c'est-à-dire disposées en petits paquets séparés par des intervalles stériles.

Les gisements de Californie se trouvent dans la région montagneuse du flanc ouest de la Sierra Nevada. Il y a là l'un des plus grands filons connus du monde, le Mother Lode qui a 110 kil. de longueur et qui est aurifère sur toute sa longueur. Mais ce n'est pas la grande masse quartzeuse qui est aurifère ; ce sont les "leaders", veines beaucoup plus minces où se sont concentrés les métaux et particulièrement l'Or. Ces filons sont des fractures, des décrochements traversant tous les terrains ; leur largeur est variable (de 1m à 100m) les meilleures parties sont les plus minces ; le fait paraît assez général. Le remplissage est constitué par du Quartz venu certainement en plusieurs fois ; on trouve du Quartz de première venue, broyé et recimenté par du Quartz de deuxième venue. La partie la plus riche est rubanée, bleuâtre ; le Quartz y a souvent pris une allure caverneuse surtout dans les parties hautes ; cette allure caverneuse est due au départ de la pyrite.

Ce grand filon de Californie comprend, en outre, de la pyrite aurifère, de la galène, de la blende, du mispickel, de la chalcopyrite, quelquefois même un peu de cinabre. On y a parfois signalé un peu de tellure.

Là comme partout, l'Or libre disparaît en profondeur.

Ce type se retrouve, mais avec des dimensions moindres sur le plateau du Mexique où ce type des filons quartzo-auro-argentifère est très développé ; mais la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

proportion de métaux associés à l'Or y est plus grande.

Dans la région Ouest des Etats-Unis, se trouve des mines d'une nature différente, ceux de Cripple-Creek, dont l'importance est et surtout a été considérable. Des roches acides, souvent sodiques, contiennent d'innombrables craquelures où se sont localisées des formations spéciales constituées par des tellurures d'Or, un peu argentifères et par de la fluorine. Dans l'un des points on a exploité une véritable cheminée cylindrique, remplie par du basalte, avec craquelures argentifères et aurifères.

Les mêmes formations métallifères se retrouvent au *Japon* et dans les îles de la Sonde.

Le Japon a été autrefois très riche en Or; les parties riches ont déjà été exploitées il y a plusieurs siècles. Ce sont des formations quartzo-auro-argentifères dont quelques-unes, suivant la teneur sont considérées comme aurifères ou comme argentifères. Les principaux gisements se trouvent dans l'île de Sado, à Tagenai, etc....

On a retrouvé le même type dans les *Philippines*, à Célèbes où quelques mines ont des teneurs énormes et des minerais très difficiles à traiter (combinaisons de Sélénium, bismuth et Or), à *Sumatra*, en *Nouvelle Zélande* (voir précédemment).

Les formations de ce genre sont rares en Afrique. Mais dans le Nord de Madagascar, à Andavakoera, on connait des associations analogues de minerais aurifères, venant le long de roches éruptives sodiques (Quartz, pyrite aurifère ou Or natif en surface, sulfures complexes).

En *Transylvanie* se trouvent le district du Nord avec Schemnitz, Kremnitz, et celui du Sud avec les mines de Nagyag, Offenbanya, Rezbanya, Veressatack, Botes. On y trouve le type américain. Elles sont exploitées depuis l'antiquité.

Schemnitz se rapprochait des grands filons bréchiformes d'Amérique, de ceux de Cornstock, de Californie. On y trouve des brèches recimentées, avec sulfures complexes. L'Or y est associé à des jaspes rouges; l'Argent à des minéraux plombifères.

Dans le district du Sud, les conditions sont un peu différentes, on constate l'existence d'une série de craquelures analogues à celles de Cripple-Creek. Ces craquelures se prolongent jusque dans le Flysh. L'Or y est fréquemment associé à du Tellure.

En résumé, les grands filons paraissent souvent représenter des types plus

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

profonds de fractures tertiaires, les petites craquelures des types plus superficiels.

Gisements d'Or à allure sédimentaire.

On peut y rattacher les gisements du Witwatersrand où il y a soit origine sédimentaire, soit pénétration postérieure.

Les autres types sont les placers et les alluvions de tous âges.

Gisements du Transvaal. — Ils ont une importance considérable. (8 à 900 millions de francs par an, soit 1/3 de la production totale).

Ils ont été découverts en 1887; le développement du pays y a été considérable. On a rencontré au début quelques alluvions aurifères qui ont attiré l'attention; mais en somme elles ont été très peu importantes, cela tient à la petite quantité d'eau courante existant dans le pays.

On a trouvé ensuite l'Or sur l'affleurement filonien; en 2-3 ans on a vidé tout ce qui existait comme or natif. En s'approfondissant on a trouvé des minerais difficiles à traiter; heureusement à ce moment, on a trouvé le procédé de cyanuration qui leur convenait parfaitement.

Ce sont des couches de conglomérat intercalées dans des terrains primaires plissés, recouverts en discordance par les couches horizontales du Karoo.

Le plissement correspond grossièrement comme âge à celui des plissements calédoniens d'Europe. Le Carbonifère n'existe pas dans cette région, il apparaît plus au Nord; le Karoo (Permien, Trias, Jurassique) est une formation lacustre, saumâtre avec quelques roches éruptives; elle contient de nombreux et importants gisements de houille. A l'Est du Witwatersrand, plusieurs mines exploitent la houille en haut et l'Or en bas.

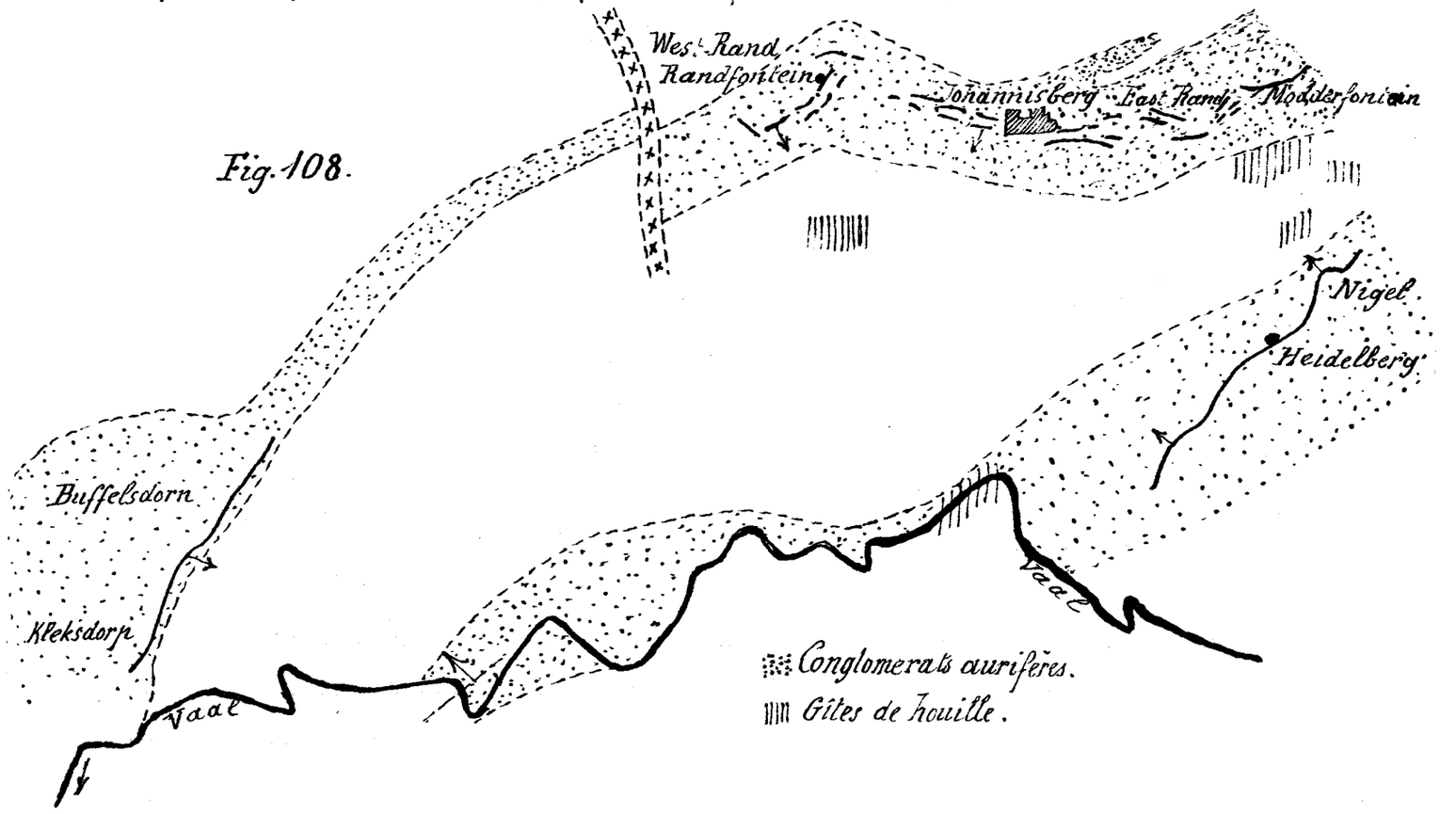
La formation aurifère contient des schistes, des quartzites, des conglomérats, avec intercalation de granites, de granulites, de gabbros, de norite. Il y a eu un métamorphisme très net qui indique un retour en profondeur; la venue de l'Or peut être en relation avec ce phénomène de métamorphisme.

L'Or se trouve presque exclusivement dans les conglomérats où les galets ont la grosseur d'une noix. Quand les galets sont plus gros, l'Or est disséminé en paquets d'une façon irrégulière. Quand le grain devient plus fin et que le conglomérat passe à un grès, la teneur en Or devient moindre et bien souvent ne permet

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

pas l'exploitation. La plupart des mines se trouvent sur une zône de 25 kilom. de long passant par Johannesburg qui a été fondé sur les gisements eux-mêmes.

Fig. 108.



Carte du gisement du Witwatersrand (Transvaal).

Les couches aurifères ne sont pas continues, elles forment, en réalité, une série de lentilles, que l'on identifie à tort les unes avec les autres.

Dans la région Est les couches sont recouvertes par le Karoo; on les suit jusqu'au groupe de Modderfontein; leur prolongement n'est pas exploité.

Dans l'Ouest, on trouve les mines de Randfontein, puis après une interruption de 80 Kilom. environ celle de Buffelsdorn.

La plus grande richesse se trouve dans la région centrale, à l'Est et à l'Ouest le grain devient plus fin et la teneur moins grande.

Toutes les couches plongent vers le Sud; mais on les voit réapparaître au Sud-Est avec un plongement inverse dans le Nigel. Il semble donc qu'il y ait en profondeur toute une série de couches aurifères, encore inexploitées.

En dehors de cette formation, il y a au-dessus et au-dessous d'autres couches aurifères appartenant à des niveaux un peu différents, beaucoup moins importantes, moins

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

riches, difficilement exploitables. Ainsi, dans le Black-reef qui a donné lieu à beaucoup de déboires, la formation précédente a été remaniée; on y a trouvé, dans certaines rigoles, de grands amas très riches qui se sont épuisés très rapidement.

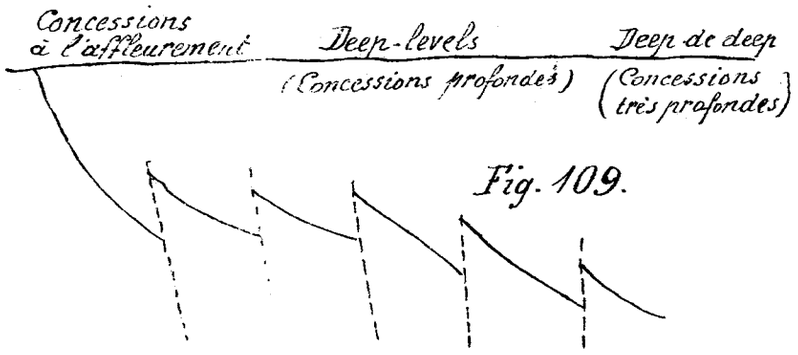


Fig. 109.

Coupe schématique montrant la descente par échelon de la couche aurifère du Witwatersrand.

En coupe, on voit la formation plonger plus ou moins rapidement; elle est recoupée par une série de failles qui sont inverses, le résultat a été que certaines parties de concessions ont vu leur puissance doublée. Quand on s'est aperçu que les couches au lieu d'être à peu près verticales diminuaient d'inclinaison en profondeur, on a pris une série de concessions (deep-levels) qui n'ont pas d'affleurement au jour. On a encore peu mis en exploitation la tranche suivante (deep de deep) où les puits devront atteindre jusqu'à 1500 m de profondeur.

Le mode d'exploitation a consisté longtemps à descendre un puits incliné le long de la couche et à faire une série de galeries transversales. On a fait pour chaque point une prise d'essai; on peut ainsi dresser des courbes, représentant l'épaisseur du filon, la teneur en Or, le rendement.

On constate ainsi que la teneur en Or varie dans des proportions énormes.

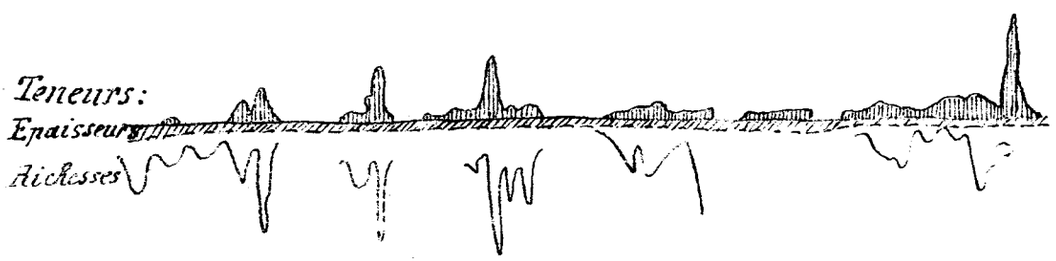


Fig. 110.

Coupe représentant la variation des teneurs, des épaisseurs et de la richesse dans une galerie de mines de Witwatersrand.

On a soutenu que cette teneur était en relation avec la présence des porphyres; il y a en effet, une coïncidence partielle dans quelques mines; mais cette coïncidence ne se reproduit pas dans les autres.

La teneur en Or est généralement très faible; les mines les plus riches tenaient 100 francs d'Or à la tonne, la teneur s'est abaissée; cela tient à des conditions industrielles; au fur et à mesure que la vie de la mine se prolonge le prix de revient s'abaisse et on peut exploiter des couches considérées autrefois comme stériles. La diminution de la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

teneur paraît cependant parfois réelle, mais d'une façon différente, en ce sens qu'il y a généralement alternances de zônes riches et de zônes pauvres.

L'origine de l'Or dans ces conglomérats est très discutée. On a cru d'abord à des placers d'âge silurien; cette théorie est actuellement insoutenable; l'Or se trouve exclusivement dans le ciment et les galets sont toujours stériles; de plus, au lieu d'avoir une couche riche, unique ou à la rigueur double, le long du bed rock, comme dans le cas des alluvions, on trouve une dizaine de couches dont 3 ou 4 exploitées (main-reef, leaders, etc...)

On a parlé aussi d'une origine sédimentaire contemporaine du dépôt; il y aurait eu sur le littoral marin ou dans un fleuve, préparations mécaniques de roches continentales; les quartz seuls auraient subsisté, avec l'Or qu'ils pouvaient contenir.

Une autre théorie est celle d'une pénétration interne (imprégnations diffuses). Il y aurait eu des venues de pyrites aurifères, en relation avec les roches éruptives; elles seraient solidaires du métamorphisme; on expliquerait ainsi la relation très nette entre la teneur en Or et la grosseur des galets. La grosse objection est l'énorme étendue sur laquelle cette formation garde ces caractères.

On connait des formations analogues, beaucoup moins importantes d'ailleurs, dans d'autres régions. Il y a d'abord des placers avec formation de conglomérats; mais ils ne rentrent pas dans ce type du "Transvaal"; celui-ci a été retrouvé, cependant, à la Gold Coast (pays des Achantis) où les conglomérats sont nettement en relation avec des filons et d'ailleurs moins riches.

Alluvions aurifères

On a déjà vu précédemment (voir page 44) les lois générales de ces formations.

Elles sont rares dans les terrains anciens; les plus nombreuses correspondent au régime des vallées actuelles ou des vallées qui les ont immédiatement précédées. Quelques-unes, recouvertes par des coulées de basalte ont été protégées (Californie, Australie, Sibérie).

D'une façon générale, l'alluvion aurifère est généralement particulièrement riche à la base, au contact du bed rock; la richesse varie avec la nature du bed-rock; quand il est constitué par un schiste dont les rugosités ont arrêté les paillettes l'alluvion est riche; quand il est constitué par du granite plus ou moins

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

poli qui laisse glisser les paillettes, l'alluvion est pauvre.

Le nombre des couches aurifères dans les alluvions est toujours très faible (1 ou 2). Elles sont constituées par des graviers qui sont bleus en profondeur (blue gravels), jaunes en surface (yellow gravels).

On les exploite parfois par des exploitations hydrauliques ou par des galeries souterraines.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Platine

C'est un métal très spécial, car il n'y a qu'un gisement dans le monde: un petit coin de l'Oural. Le platine est donc complètement monopolisé.

Depuis longtemps la consommation est près de 40% supérieure à la production, ce qui semblerait indiquer des erreurs dans les statistiques russes.

Le cours du Platine augmente beaucoup; les alluvions où on le trouve, s'épuisent; autrefois aurifères, elles doivent maintenant être exploitées uniquement pour Platine; ce métal est dès lors seul à payer les frais d'exploitation.

Ces alluvions proviennent de la décomposition de roches spéciales: des péridotites platinifères. On a fini par trouver quelques points où la roche était en place; mais la teneur de ces roches est minime, souvent à peine appréciable.

Le prix du Platine dépassant 6000 fr le Kg, on peut exploiter des alluvions très pauvres; celles-ci proviennent de la décomposition de kilomètres cubes de roche.

On a trouvé, récemment, un peu de Platine en Colombie et au Canada.

Production: Russie..... 4 à 5000 kil.
Colombie..... 100 kil.
Canada..... 30 à 40 kil.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Eaux souterraines

L'étude des eaux souterraines est liée à celle des filons métallifères ; dans beaucoup de cas ceux-ci ont été amenés par des eaux. De même dans d'autres cas, l'étude des filons métallifères peut aider celle des sources thermales.

D'ailleurs l'exploitation des eaux constitue une ressource minérale au même titre que les autres.

L'étude et l'utilisation de l'eau souterraine a pris de grands développements dans ces dernières années. D'ailleurs de tous les temps la question de la recherche de l'eau a préoccupé l'homme. On peut considérer à ce point de vue qu'il y a eu plusieurs périodes.

I - L'eau sort du sol : sources, etc., d'où la première idée de la circulation souterraine des eaux.

II - Pendant une longue période moderne, on a divisé les eaux en 2 groupes: les eaux ordinaires, et la source thermale arrivant mystérieusement des entrailles de la terre et dangereuse à modifier par le captage. Les Romains n'avaient pas ces idées ; partout dans leur désir de confort, ils ont capté les sources thermales, au moyen de travaux compliqués, délicats et très rationnels.

III - Actuellement, on tend à nouveau à capter artificiellement les sources; mais il faut opérer avec beaucoup de prudence.

Origine des Eaux.

Dès les temps primitifs, on a fait des puits pour aller chercher de l'eau en profondeur. On s'est rendu compte ensuite, assez vite, qu'on pouvait se procurer de l'eau par galeries horizontales. Les travaux de mine ont amené de plus en plus à recouper les eaux souterraines et ont permis de connaître quelques-unes des lois de circulation de ces eaux qu'on avait le plus grand intérêt à éviter.

Les eaux abondantes et chaudes circulent surtout le long des filons, des failles, fractures, etc...

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On a franchi un pas de plus quand on est arrivé à des données géologiques et quand on a commencé à creuser des puits artésiens. Mais leur succès a contribué à enraciner la notion de nappes aquifères, homogènes, admise souvent comme un dogme. En pratique, on ne trouve pas toujours de l'eau au contact de cette nappe; de plus l'eau n'a pas circulé par fissures capillaires, mais par grandes fissures, de sorte qu'elles ne sont pas épuisées aussi complètement qu'elles seraient si l'on admettait l'hypothèse de la nappe continue et homogène.

Méthodes d'études des nappes souterraines.

Actuellement, on possède plusieurs méthodes d'études des nappes souterraines.

I_ Méthode d'exploration directe.

Elle consiste à aller voir sous terre comment circulent les eaux. La plus ancienne inscription hébraïque est relative à une recherche de ce genre, faite à Siloé pour alimenter Jérusalem. Les travaux de mines rentrent dans ce groupe. L'exploration méthodique ne date que de nos jours. On a trouvé peu à peu un très grand nombre de rivières souterraines, navigables; puis des séries de ruisseaux plus petits. Même dans les calcaires marneux, l'eau circule par des fractures de dimensions notables, trop grandes pour permettre une épuration. Ces explorations ont montré, de plus, que les orifices d'entrées des eaux souterraines servaient parfois de dépotoirs aux villages voisins.

On est amené à admettre un réseau de veines aquifères anastomosées; les nappes sont simplement les niveaux où ces veines sont suffisamment nombreuses pour qu'un puits unique ait chance de les recouper.

II_ Méthode d'observation par les travaux souterrains.

Elle consiste dans l'étude des faits observés dans de grands tunnels, des mines, de sources thermales.

Le *tunnel du Simplon* a contribué à montrer que les eaux thermales sont dues, dans la majeure partie des cas, à des infiltrations d'eaux superficielles,[1]

---

[1] L'étude des eaux de Ragatz (Grisons, Suisse) avait déjà montré cette origine superficielle des eaux thermales.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

descendues en profondeur et revenues au jour.(1)

Les travaux du Simplon ont permis de recouper les nappes ascensionnelles et ont montré comment les eaux chaudes et froides se rencontrent dans les mêmes fissures, se refoulent tantôt les unes, tantôt les autres et arrivent au jour par des réseaux de fissures plus ou moins compliquées. Dans une grande fracture verticale, il arrivait de l'eau chaude par en bas, de l'eau froide par en haut. Les réserves d'eaux froides étaient limitées; celles d'eaux chaudes étaient beaucoup plus considérables. L'eau chaude peut venir par plusieurs trajets (fig. 111); le trajet 1, le plus court; un autre trajet 2, plus long, qu'elle adopte si on l'empêche de suivre le trajet 1.

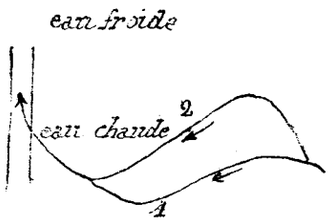


Fig. 111.

Schéma des arrivées d'eaux froides et d'eaux chaudes au Simplon dans une même fissure. Multiplicité des trajets pour les eaux chaudes, par exemple.

Le tunnel a montré l'existence de grandes nappes de charriage, affectant des schistes avec intercalations calcaires. L'ensemble des couches est à peu près horizontal; au contraire, au Saint-Gothard et au Mont-Cenis, on avait trouvé des couches verticales de sorte que les conditions étaient plus simples. Le degré géothermique a augmenté beaucoup plus vite, ce qui tient à ce que l'influence réfrigérente des hautes cimes se fait beaucoup moins sentir dans le cas de couches horizontales.

Les venues d'eau du Simplon ont été en relation avec les fractures; les sources les plus volumineuses sont venues exclusivement de terrains fissurés et de terrains solubles. Les eaux que l'on a rencontrées étaient tantôt chaudes (45°), tantôt isothermes (= sources dites permanentes à la surface, ayant la température moyenne du lieu), tantôt froides (10 ou 15°, la température de la galerie est de 30° environ).

(1) Il y a une source thermale bien connue; pendant toute la durée de la saison thermale, elle est très abondante; elle baisse à la fin de la saison au moment où on a besoin de faire des réparations. Cela tient à ce que les infiltrations se font au moment de la fonte des neiges, en Avril; celles-ci mettent deux mois pour arriver à la source thermale. Puis, au fur et à mesure que la fonte des neiges cesse d'alimenter les nappes profondes, le débit diminue. En réalité, ce ne sont pas les eaux de fonte elles-mêmes qui arrivent directement et si vite à la source thermale, mais leur arrivée communique aux réservoirs souterrains une pression considérable qui augmente leur débit. Le phénomène, très régulier, est très net. — On peut même se rendre compte que le débit augmente les années pluvieuses, diminue les années sèches. On a, maintenant, plusieurs siècles d'observations.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

On a constaté également que la température ne s'est pas accrue régulièrement suivant la loi du degré géothermique, les venues d'eaux froides refroidissent le rocher au contact, les venues d'eaux chaudes le réchauffent ; il y a ainsi une série d'anomalies de températures. Ce fait peut trouver son application aux filons métallifères ; à la hauteur d'une venue d'eau froide, il peut y avoir précipitation des liqueurs métallifères, on peut expliquer ainsi l'enrichissement de certains filons au croisement de croiseurs stériles.

A 4 kilom. de la surface, on a recoupé une première faille donnant une venue d'eau chaude considérable qui a arrêté les travaux pendant plusieurs mois ; 25 m. plus loin, on a retrouvé une seconde faille avec une zône de broyage amenant jusqu'à 1200 litres par seconde et arrêtant à nouveau les travaux. C'est par cette faille qu'arrivaient à la fois des eaux chaudes et des eaux froides.

Ces eaux souterraines ont toutes leur pression propre (comme à Ragatz), en fonction de leur distance verticale au point d'infiltration ; elles prennent, par suite, un état d'équilibre. Quand on trouble cet équilibre, les circuits souterrains peuvent se trouver dérangés, et si l'on s'y prend maladroitement, les eaux peuvent se créer une nouvelle issue, abandonnant définitivement la première.

Les eaux arrivant dans cette fracture étaient chargées de nombreuses substances en dissolution, en particulier beaucoup de sulfate de chaux (1 gramme par litre avec un débit de 1200 litres par seconde ; cela représente environ 10.000 m^3 de gypse par an). Il en résulte au bout de quelques années des vides énormes, pouvant déterminer des accidents géologiques et de véritables gouffres où les eaux peuvent s'accumuler. Ce phénomène se reproduit sur une échelle moindre pour le carbonate de chaux. L'eau qui s'infiltre rencontre des réservoirs énormes qui jouent le rôle de régulateurs et qui expliquent le régime permanent des sources importantes.

Au Simplon, on a cru que ces venues d'eau ne dureraient qu'un temps ; l'eau a baissé effectivement, parcequ'on avait crevé des poches qui se sont vidées ; mais il s'est établi rapidement un régime nouveau, un peu moindre, mais encore très abondant. On pensait que le champ d'infiltration était minime et que le débit devait être un peu considérable ; il fut 7 à 8 fois plus grand. On n'avait pas tenu compte de la grandeur des galeries et des réservoirs qui mettent en relation des surfaces considérables et peuvent atteindre même certaines rivières ; si le sous-sol

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

est saturé, la rivière ne s'infiltre pas ; si l'on vient à assécher le sous-sol, directement ou indirectement, la rivière s'y infiltre et disparait. (Le phénomène est bien connu par l'expérience de certaines mines de calamine).

On a essayé de se rendre compte du phénomène d'infiltration dans des galeries de mines par des expériences à la fluorescéine ; on a constaté l'arrivée de la fluorescéine à plusieurs époques, correspondant à des passages de l'eau par des trajets différents. Il arrive constamment dans les travaux de mine de rencontrer des eaux chaudes ou froides. Ainsi à *Bacchegiano* (Toscane), vers 150–200 m, on rencontre une source thermale ; on y a constaté dans une même fracture des eaux chaudes et froides, ayant une pression hydrostatique différente. En établissant une contre-pression égale à celle de la source la plus faible, on l'arrête ; l'autre continue à couler. On peut ainsi modifier la température et la composition d'une source.

La plupart des eaux thermales sont ainsi un mélange d'eaux profondes pures et d'eaux superficielles froides, susceptibles d'être contaminées et d'être arrêtées en modifiant la pression.

En Bohême, la station thermale de *Teplitz*, est située sur un filon de porphyre à 7 km. de la mine de lignite d'Ossel. Les eaux arrivent à Teplitz par une large fracture se disséminant, par une série de petites fissures dans le porphyre. On a pu y descendre jusqu'à 250 m. Elles rencontrent dans leur trajet ascensionnel une série de lits poreux ; il se produit à leur niveau une série de nappes adventives, très nettes dans un conglomérat du Cénomanien et un calcaire fissuré du Sénonien (Gläner). Or à un moment donné, au niveau de l'un de ces lits poreux, il s'est produit une mise en communication des mines avec les sources thermales par un réseau souterrain.

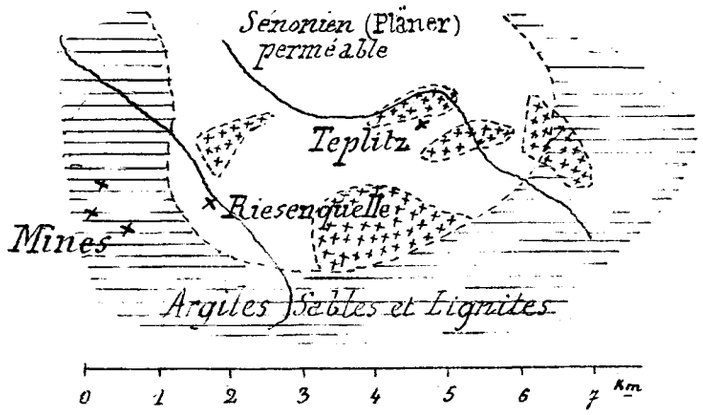


Fig. 112.

Carte géologique schématique de la région de Teplitz (Bohême).

Le 10 Février 1879, une galerie à la cote 156 a été brusquement envahie par un jet d'eau (10 m³ par seconde). En 10 minutes la mine a été envahie sur 60 m

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

de hauteur cependant précisément à la différence de niveau entre la mine et la source, 21 ouvriers ont été tués. En peu de temps toutes les mines ont été noyées. Cette eau était d'abord froide; c'était de l'eau relativement superficielle, refoulée par la pression de l'eau thermale; elle est devenue progressivement chaude (21°) par suite du mélange avec celle-ci. Quand l'équilibre a été établi, la température a baissé progressivement. En même temps, l'eau thermale dans la source avait disparu. On a, alors, à Teplitz, approfondi le captage et en recreusant les fissures du porphyre on a trouvé l'eau thermale à une profondeur de 50m. Puis, la saison thermale terminée, on a essayé d'établir un barrage étanche entre la source et la mine; à cet effet, on a pompé dans la mine, et rebétonné toutes les fissures. On est arrivé ainsi à retrouver l'ancien état de choses.

Mais, au bout de 8 ans, un jet d'eau considérable s'est produit, transportant des blocs de 7 Kgr. On a immédiatement rebétonné par en haut le chantier épuisé, puis on a épuisé la mine. En même temps, on a imaginé de capter la source thermale, à Teplitz même, au moyen d'un captage étanche; on a fait un sondage jusqu'à 500m mais on n'a pas réussi.

En 1892 la source thermale est retournée à nouveau dans la mine qui, à la suite de difficultés, est restée envahie. En 1895, on a alors établi, vers la Riesenquelle, un grand puits où l'eau montait à une hauteur variable, servant en quelque sorte de manomètre intermédiaire. On a pu ainsi arriver à épuiser progressivement la mine et à établir un barrage qui depuis, n'a pas bougé.

Tous ces faits ont permis de constater que l'eau circule souterrainement avec des lois très voisines des lois de l'hydrostatique.

Les catastrophes successives ont été d'ailleurs de moins en moins importantes, parceque les réservoirs intermédiaires situés dans le niveau de Plänen s'étaient vidés.

On s'est rendu compte que l'on pouvait par le puits de Riesenquelle faire varier la pression dans la source thermale, et en même temps que la pression, l'arrivée d'eau froide et la composition de l'eau.

III _ Observations indirectes en partant de la surface.

Elles peuvent se faire par la fluoresceine, par les observations de température, par l'analyse chimique. Celle-ci donne souvent des indications sur la nature des terrains traversés (terrains calcaires, pyriteux, salifères, gypseux, etc...) — l'analyse

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

bactériologique n'est démonstrative que si elle est répétée; en effet une analyse faite en dehors d'une période de maladie ne donnera aucun résultat et ne prouvera rien; de plus, les trajets de circulation des eaux souterraines peuvent se modifier; notamment après une période pluvieuse qui amorce des siphons nouveaux.

Parcours des eaux souterraines.

Le parcours des eaux souterraines comprend trois parties :

l'infiltration,

le circuit souterrain,

la remontée au jour.

Dans tout ce qui suit on suppose que les eaux thermales sont d'origine superficielle. On laisse de côté, ici, les eaux venant directement de la profondeur (fusion des roches; eaux dites "juvéniles"). Seule la partie relative aux infiltrations ne peut s'appliquer à elles.

I_ Infiltrations.

L'eau qui arrive sur le sol se divise en trois parties: 1° eau d'évaporation, 2° eau de ruissellement; 3° eau d'infiltration.

La proportion de ces trois parties est extrêmement variable suivant les cas particuliers.

Elles peuvent se faire très lentement. Il y a donc un bassin d'alimentation très étendu et beaucoup plus développé qu'on ne le croyait autrefois. Les contaminations sont donc possible à grandes distances. Les points d'infiltration par masses (abîmes, bétoires, etc...) sont assez rares; les eaux s'infiltrent par un réseau capillaire.

Ce ne sont pas les chûtes d'eau rapides et courtes, qui influencent le régime des sources; c'est la pénétration lente à la faveur des brouillards et des neiges qui est particulièrement favorable; car, dans ce pays, il n'y a ni évaporation, ni ruissellement. La nature de ce réseau capillaire dépend de la constitution du terrain.

Les *terrains granitiques* se décomposent en une arène, véritable sable constituant une sorte d'éponge qui s'imbibe d'eau. Il se produit un niveau d'eau à sa base; aussi y-a-t-il presque toujours des sources au point de courbure du profil des talwegs, c'est-à-dire au point qui correspond au passage de l'arène au granite non décomposé.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Le *lœss*, sable argileux très homogène, parfois très épais (50 à 60 mètres), couvrant de grandes surfaces, permet l'infiltration facile de l'eau. Ainsi dans la partie danubienne de la Bulgarie, au-dessus d'un calcaire très fissuré, se trouve un feutre de lœss. Dans ce lœss, on trouve de l'eau d'une façon très homogène. Chaque puits draîne un cône dont le volume est proportionnel au cube de la hauteur du puits. Il est facile de se rendre compte que des puits trop voisins influent les uns sur les autres.

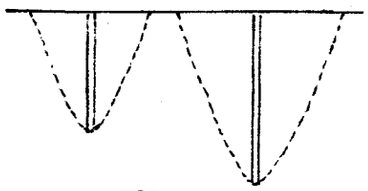


Fig. 113.

Schéma de puits assez éloignés draînant chacun leur région.

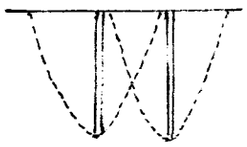


Fig. 114.

Schéma de puits trop rapprochés se nuisant mutuellement.

Les *micaschistes* et *schistes redressés* donnent lieu par leurs strates, à des infiltrations faciles, mais très irrégulières.

Le régime d'infiltration devient particulièrement irrégulier quand on a affaire à des *calcaires*. Dans ce cas, c'est toujours sous la forme d'un réseau parallélipipédique que se produisent les infiltrations, réseau constitué par de petites diaclases, de grandes ouvertures, suivant la nature du calcaire. Quand les bancs de calcaire sont minces et intercalés de marnes, il se produira de véritables petites nappes.

A la base des bancs minces de calcaire au contraire, quand la masse de calcaire est considérable et homogène (craie du bassin de Paris), l'eau s'enfonce à de grandes profondeurs laissant la surface complètement sèche et couverte de talwegs sans eau. Les puits exécutés à la surface des plateaux montre que l'eau s'enfonce en profondeur où l'on va la rechercher; si elle rencontre une nappe d'argile avant d'arriver au niveau hydrostatique il se produit accumulation d'eau sur cette couche d'argile et l'eau viendra au jour sur les affleurements des argiles (fig. 115).

Quand la craie est fissurée jusqu'au dessous du niveau hydrostatique l'eau ne descend pas indéfiniment; il existe, à une certaine hauteur, une surface correspondant aux différents niveaux atteints par l'eau dans les fractures individuelles.

Ainsi dans l'intérieur du plateau de la Dobroudja bulgare, il s'établit une surface de draînage qui correspond au niveau hydrostatique. Mais il n'est pas certain qu'un puits trouve de l'eau en a, à l'intersection de la surface hydrostatique;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC



Fig. 115.

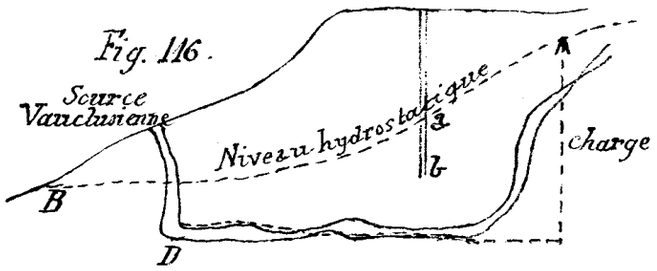


Fig. 116.

il pourra n'en trouver que plus profondément en b, c'est-à-dire quand il rencontrera une fissure aquifère. Mais l'eau une fois rencontrée en b remontera jusqu'au niveau a. — Les cotes de l'eau rencontrée dans les puits se répartiront donc suivant des courbes de niveau très régulières ; mais les profondeurs des puits eux-mêmes seront très variables.

II — Circulation des eaux souterraines.

L'eau infiltrée descendue dans le sol est soumise à une série de forces : gravité, capillarité, charge hydrostatique, conditions de température.

La capillarité n'entre en jeu que dans le cas de fissures très fines ; elle doit jouer un rôle assez faible, vis-à-vis des autres forces en jeu.

De même les conditions de température ne jouent probablement qu'un rôle médiocre et ne servent probablement qu'à modifier la répartition des circuits. On a donc principalement en présence la gravité et la pression hydrostatique.

La remontée de ces eaux peut se faire de 4 façons principales :

1°) Les eaux reviennent au jour parcequ'elles ont rencontré une couche imperméable (*sources ordinaires*). Elles viennent au jour presque sans charge ; leur bassin d'alimentation est peu étendu et situé à une faible profondeur ; elles ont un débit restreint ;

2°) Les eaux remontent par une fissure, communiquant avec un bassin d'alimentation, situé à une profondeur également assez faible ; ce sont les *sources pérennes* ou *isothermes* qui gardent la température moyenne du lieu ; elles sont généralement assez abondantes ;

3°) L'arrivée se fait par une fracture très large, permettant le drainage de parties telles que D (fig. 116), situées au-dessous du niveau hydrostatique

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

et ayant une pression ou charge assez considérable (sources vauclusiennes);

4°) *Sources thermales*. La fracture descend à des profondeurs très grandes (500, 1000, 2000 m); l'eau aura ainsi une température considérable (100° si elle est descendue à plus de 3000 m). Pour qu'il y ait source thermale il faut donc une large fracture, continue, analogue aux fractures filoniennes. Il faut de plus que cette fracture corresponde avec des réservoirs souterrains.

Toutes les fois que les travaux d'une source thermale permettent de descendre à une profondeur considérable et d'atteindre le "griffon" en roche, on constate toujours l'existence de cette fracture. Ainsi à Teplitz, on est descendu jusqu'à 250 m dans la fracture.

Ce qui caractérise une source thermale, c'est *l'infiltration lente* qui permet aux eaux de se réchauffer en descendant dans le sol et la *remontée rapide* qui ne permet pas le refroidissement. Si l'infiltration et la remontée se font dans les mêmes conditions de vitesse, l'eau de la source sera à la même température que la surface.

On peut calculer le temps de la remontée en fonction du débit, donc de la vitesse et de la température, donc de la profondeur d'où vient la source.

Le débit Q d'une source quelconque de section W et de vitesse d'écoulement v s'écrit en effet par définition même : $Q = W\,v$.

Comme on connait le débit Q (par exemple 1000 litres soit 10^6 cm^3 par seconde), la section W, (par exemple $10^m \times 0{,}10$), soit 10^4 cm^2, on déduit la vitesse

$$v = \frac{Q}{W} = \frac{10^6}{10^4} = 10^2 \text{ cm}$$

par seconde (1 m par seconde).

On connaît, d'autre part, la profondeur approximative du réservoir souterrain, fonction de la température de la source. Ainsi dans un lieu à température moyenne de 10°, a degré géothermique de 30 mètres, une source ayant une température de 60° viendra d'une profondeur de $50 \times 30 = 1500$ mètres.

Sa vitesse étant de 1 mètre par seconde, elle a du mettre environ 1500 secondes, soit 25 minutes pour remonter.

Cette durée de remontée est très variable; elle peut atteindre plusieurs jours. (Ainsi avec un débit de 10 litres par seconde, on trouverait une durée de remontée 100 fois plus grande (41 heures et 40 minutes).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Il faut noter que dans l'ensemble les sources thermales ont un débit constant, ce qui nécessite de grands réservoirs souterrains. L'eau contribue d'ailleurs à les créer; elle dissout en effet les éléments de leur paroi (d'où leur minéralisation). La minéralisation des sources est peu considérable; mais avec le débit et le temps, l'eau arrive à enlever des masses considérables de matières. Les réservoirs des eaux thermales doivent donc s'augmenter constamment.

III - Retour des sources thermales à la surface.

Ces sources se trouvent d'abord sur une fracture géologique; mais ces fractures géologiques sont plus ou moins continues en plan; cependant les sources se trouvent en un point déterminé de cette fracture qui coïncide avec l'intersection de la fracture géologique avec une ligne de moindre pression topographique (vallée, bord de la mer, etc...).

Les sources thermales se trouvent toutes localisées dans les régions de dislocation récentes. (Les régions de dislocations anciennes ont leurs sources obtenues par les éboulis de la surface et par les dépôts de la source même). Ainsi, en Europe, on n'en connaît pas en Norvège, en Finlande, dans le Nord de l'Angleterre, régions de dislocations anciennes, (ce n'est pas une question de latitude, car il y a de nombreuses sources thermales en Islande où l'on retrouve des fissures d'origine récente).

De même en France: en Bretagne, Ardennes, il y a peu de dislocations récentes, donc peu de sources thermales proprement dites (Enghien, Bagnoles, sont des cas très particuliers et ne constituent pas de véritables sources thermales).

Les sources thermales peuvent être de différentes natures, en rapport avec différents groupes de dislocations géologiques, failles, filons, etc....

Sur le bord du Forez, le système des failles produit une dénivellation d'au moins 2500 m.; elles sont disposées en échelons et produisent un contact hétérogène grâce auquel se trouvent alimentées les sources thermales. On voit très nettement ces sources s'aligner sur les grandes fractures (fig. 117).

A *La Bourboule*, les eaux remontent le long de la fracture F. Pour les rechercher, on fait des puits qui vont recouper la fracture (fig. 118), il suffit d'ailleurs de rencontrer de l'eau dans l'une des fractures adventives. On offre à l'eau un chemin plus court et largement ouvert au lieu du chemin plus long qu'elle suit normalement.

Au bout d'un certain temps, le tuyau s'obstrue et s'encrasse. L'eau tend

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

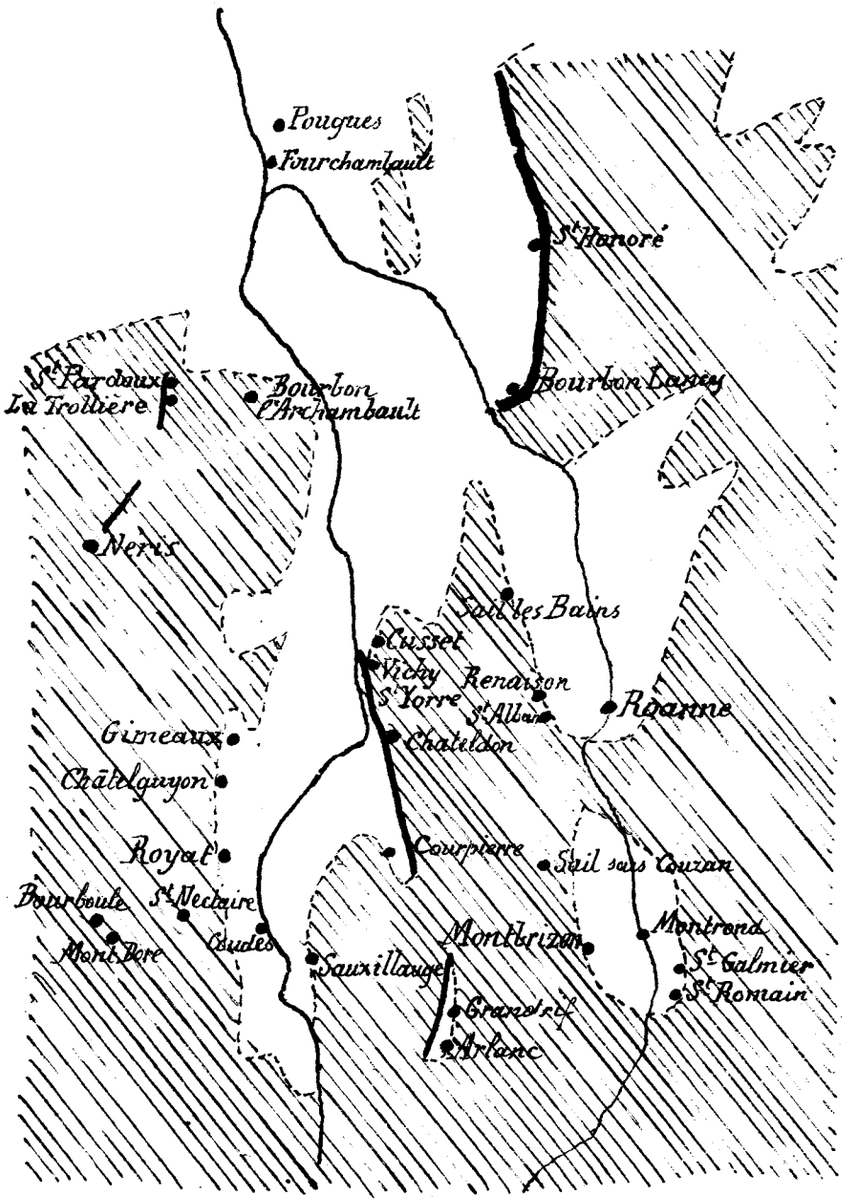


Fig. 117 ● Source minérale.

Carte schématique des cassures et des sources thermales du Centre de la France.(1)

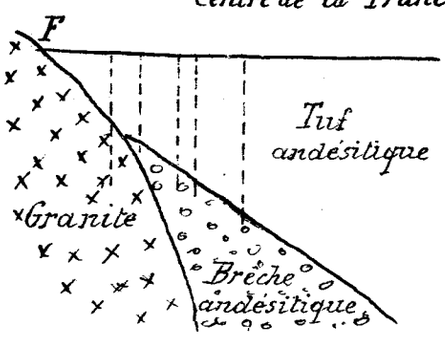


Fig. 118.

Coupe géologique schématique à la Bourboule. (Puy-de-Dôme).

à reprendre son ancien chemin, à moins que l'on ne fasse un nouveau sondage.

Les faits sont analogues à Bourbon-l'Archambault (Allier). Un massif de gneiss y est complètement entouré par du Permien. Une série de cassures y constituent de véritables filons métallifères (avec galène, blende, fluorine). L'une de ces cassures s'est rouverte à une époque récente et a donné lieu à la source thermale. La source thermale est localisée en un point déterminé, unique, correspondant à la vallée, au point le plus bas où la résistance est la moindre.

A Plombières (Vosges), les relations sont également les mêmes.

Il est donc facile de voir que les sources thermales

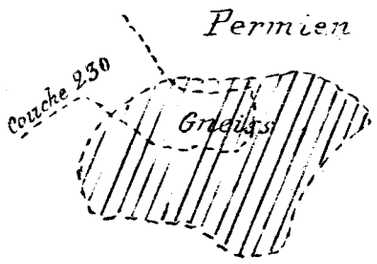


Fig. 119.

Coupe schématique de Bourbon-l'Archambault (Allier)

(1) Montrond (Loire) est une source artificielle: un forage a été atteindre profondément la nappe artésienne.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

peuvent se produire soit sur une faille, soit sur un décrochement incrusté par un filon.

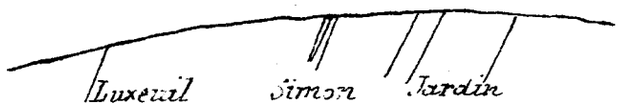


Fig. 120.

Schéma de la relation des sources avec des filons métallisés.

Les filons métallifères et même les filons de roches éruptives peuvent jouer le rôle de plan de drainage pour les eaux souterraines.

Les sources thermales sortent toutes en des points bas, dans les dépressions où la charge est la moindre. La conséquence est qu'un grand nombre de sources se trouvent près de la mer; le fait est le même, et très net, pour les eaux froides. Dans les pays à calcaires fissurés des sources vauclusiennes se font jour dans la mer même.

Sur tout le pourtour du cratère de l'île Saint-Paul (Océan Indien), il y a une série de sources thermales, presque continue sur le bord de la mer. Il en est de même dans l'île d'Ischia, dans l'île de Metelin (Archipel).

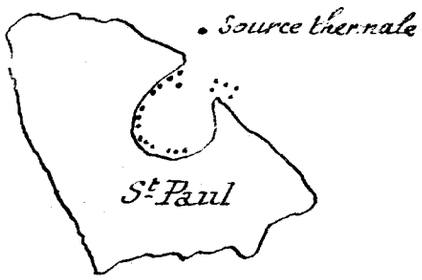


Fig. 121.

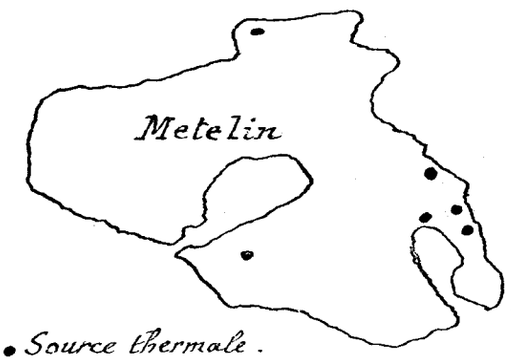


Fig. 122.

Schéma de la disposition des sources thermales sur le bord de la mer à l'île St Paul (O. Indien) et à Metelin (Archipel).

Il arrive constamment que les eaux sortent dans le lit même des rivières, dans des alluvions où la recherche et les travaux sont particulièrement difficiles.

Les sources se trouvent souvent aussi au pied des montagnes; à l'intersection des filons avec la vallée (Bagnères-de-Luchon).

Les sources de Ragatz (Suisse) sortent de même à l'intersection d'une vallée profonde et de filons perpendiculaires.

Propriétés des sources thermo-minérales. — Les sources thermominérales, sont tantôt chaudes, tantôt minéralisées; elles sont définies par l'usage qu'on

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

en fait en médecine ; mais elles sont généralement caractérisées en même temps par leurs propriétés physiques et chimiques. Les unes sont simplement thermales et très pures ; les autres sont à la température ordinaire et très chargées en matières minérales ; beaucoup possèdent les deux qualités à la fois.

La *thermalité* vient uniquement à la profondeur d'où vient l'eau (en gros 1° tous les 30 m., donc 30° tous les 1000 m.). Dans les pays volcaniques, le degré géothermique n'est quelquefois que de 8 à 10 m ; la température croît très vite avec la profondeur ; le pays est alors d'ailleurs très disloqué et on y rencontre de nombreuses sources thermales minéralisées.

Quand l'eau est froide, elle dissout ou décompose les éléments banals (chaux, chlorures de sodium, pyrite, sulfate de chaux, sels de magnésie). Elle peut subir des réductions (sulfate de chaux réduit en sulfure de calcium) on aura alors des eaux sulfurées calciques et chlorurées sodiques. Si le sol est imbibé d'acide carbonique, comme en Auvergne, l'eau en entraînera de grandes quantités ; elle pourra dissoudre des quantités de sels divers, beaucoup plus grandes, elle contiendra des bicarbonates de soude, de chaux, de lithine, etc....

Quand l'eau est chaude les réactions sont très facilitées. Toutes celles citées précédemment peuvent être réalisées sur une plus grande échelle. En dehors de celles-ci, les eaux chaudes peuvent dissoudre les sels de potasse, de soude contenus dans les roches (sulfate de soude réduit à l'état de sulfure de sodium caractéristique des eaux chaudes ; silice).

Enfin les eaux à haute thermalité ne contiennent souvent absolument rien ; elles ont cependant une action thérapeutique. Il est possible que les éléments chimiques dilués d'une façon très étendue aient une influence ; de plus la présence d'éléments radioactifs, d'hélium, d'argon, peut jouer un rôle.

Les eaux peuvent produire des dépôts, surtout dans le cas des eaux calcaires ; il est nécessaire, alors, de déboucher de temps à autre les conduits (Carlsbad, Vichy) ; sinon la source se déplace et adopte un autre circuit où les résistances sont moindres.

Captage des eaux souterraines.

Les procédés exposés ici s'appliquent plus spécialement aux eaux thermales, mais ils peuvent être utilisés pour les eaux ordinaires, d'ailleurs plus faciles à

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

capter. Ils comprennent :

1° La recherche de l'eau thermale

2° Le captage proprement dit

3° L'aménagement des eaux thermales (adduction au réservoir, à l'établissement thermal, aux baignoires, piscines, etc...).

Capter une source thermale, c'est employer les dispositifs propres à lui assurer le maximum de thermalité et de débit et à empêcher le mélange avec les eaux ordinaires qui abaissent sa température et y ajoutent des impuretés.

On peut augmenter le débit en diminuant la thermalité et la minéralisation ; celà revient à la laisser se mélanger avec des eaux ordinaires, avec des infiltrations superficielles ce qui a de gros inconvénients ; car les eaux superficielles peuvent contaminer les eaux thermales. Cette prescription n'est pas toujours observée et les captages sont rarement complets à ce point de vue et l'eau n'a pas toujours la pureté qu'elle devrait avoir. La difficulté est d'ailleurs grande dans beaucoup de cas.

Il y a d'ailleurs là un problème difficile à résoudre ; car les eaux thermales doivent souvent une partie de leurs propriétés à des mélanges de cette nature, ainsi il y a des eaux sulfatées calciques qui en présence de matières organiques (lignites) se chargent en hydrogène sulfuré et en acquièrent leurs propriétés. Par conséquent si on faisait le captage trop parfait en profondeur, on aurait une eau à minéralisation différente de celle que l'on recherche. Dans des cas de ce genre, il faut donc se contenter d'examiner ces eaux superficielles au point de vue de la contamination bactériologique.

Quels que soient les cas particuliers, les premiers principes à appliquer sont :

I. Se rendre compte des conditions dans lesquelles se présente la source et établir un plan de captage ; par suite il faut déterminer la position de la fracture, reconnaître son intersection avec la surface topographique et choisir le point de sortie qui est le plus favorable ; car on a souvent plusieurs griffons qui se dispersent le long de la fracture ou le long des fractures superficielles secondaires.

II. Etablir un *niveau de captage*. Si on a plusieurs émergences on peut créer des pressions réciproques qui agissent sur les différentes eaux et modifient leur répartition.(1)

(1) Ainsi vers 1850, à *Bagnères de Luchon* les sources sortaient d'un filon de granulite ; on a fait des galeries à des niveaux quelconques ; il s'est exercé des pressions des eaux d'une galerie sur celles d'une autre ; les eaux froides se sont mélangées aux eaux chaudes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Le captage consiste en puits, galeries etc..., travaux souterrains, et on se trouve en présence de deux problèmes (épuisement des eaux, ventilation) assez analogues à ceux des travaux des mines. Cependant, il y a des différences spéciales.

L'épuisement des eaux se fait, ici, au moyen de machines de rencontre; il détermine peu à peu la baisse du niveau de la source thermale; la quantité d'eau débitée peut alors augmenter notablement à cause de l'augmentation de la pression hydrostatique en profondeur.

L'aération est également difficile; beaucoup de sources sont gazeuses; après épuisement de l'eau, il y a une nappe de gaz (acide carbonique à Vichy, etc...); il faut s'en débarrasser; les moyens dont on dispose sur place ne sont généralement pas puissants. On ventile, ou bien on est parfois amené à établir un circuit au moyen d'une galerie et d'un sondage parallèle.

Les galeries de recherches d'eau ne peuvent pas rester boisées; il faut les cimenter avec soin, au moyen de maçonneries étanches, de façon à éviter les fissures par lesquelles les eaux pourraient s'échapper. Les tuyaux métalliques dont on a à se servir sont attaqués plus ou moins vite par les substances salines dissoutes dans les eaux thermales. (On a trouvé des cristallisations de chalcopyrite, cuprite, galène, sur des monnaies romaines ou des objets tombés dans les sources de Plombières, Néris, Bourbonne, etc...

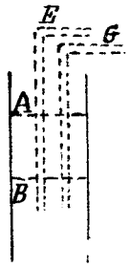


Fig. 123.

Schéma d'un puits de recherche d'eau gazeuse. Le niveau a baissé de A en B, et le débit a augmenté. L'évacuation des gaz se fait par le circuit parallèle G.

Cette altération est particulièrement rapide pour le fer; il vaudrait mieux utiliser du grès émaillé ou du cuivre; en pratique on se sert de fer; mais il ne faut pas oublier qu'on devra les remplacer assez rapidement et se réserver la possibilité d'aller les remplacer en profondeur.

Méthode de captage. Elle est très analogue dans son principe général à l'exploitation d'un minerai. On se propose d'aller chercher l'eau dans son gisement naturel. Il y a cependant certaines différences.

Les unes sont défavorables; un captage de sources se fait dans de l'eau, souvent chaude, et dans du gaz, dont la quantité augmente très vite avec la profondeur.

Les autres sont favorables; on est obligé d'aller chercher le minerai là où il est (sauf le Pétrole et le Soufre en Louisiane); au contraire, on peut forcer l'eau à venir

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

à l'endroit choisi, au moyen de pressions convenablement choisies. Il y a donc de ce chef deux cas principaux et deux modes généraux de captage.

Les méthodes employées pour aller chercher les eaux thermales dépendent des conditions de l'émergence.

1° Sources thermales provenant d'une grande fissure.

2° Sources thermales interstratifiées, provenant d'une nappe artésienne : (Vichy, Saint-Yorre, Vals, etc...).

Quand l'eau provient d'une fracture nette, il peut se présenter deux cas :

1) Le griffon se trouve dans une roche compacte, venant jusqu'à une faible distance de la surface et on peut atteindre directement le griffon au moyen de travaux peu importants;

2) Le griffon, en roche compacte est recouvert sur une épaisseur assez considérable par des alluvions, des éboulis; il est difficile d'atteindre ce griffon en roche (Dans ce cas on est amené à faire intervenir les pressions hydrostatiques.

I - Eaux thermales provenant d'une fracture à griffon accessible.

Eaux non gazeuses. — On peut faire un puits qui recoupe le filon, établir un plan incliné suivant le filon; aller recouper le filon au moyen de galeries horizontales.

A *Maizières* (Commune de Magnien, Côte d'Or), jadis captée par les Romains, il y a un massif de microgranulite encaissé dans les tufs porphyriques du Culm.

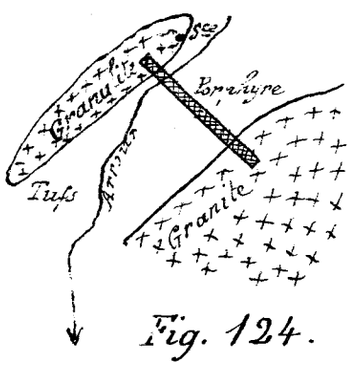


Fig. 124.

Croquis montrant la situation géologique de la source de Maizières (Côte d'Or).

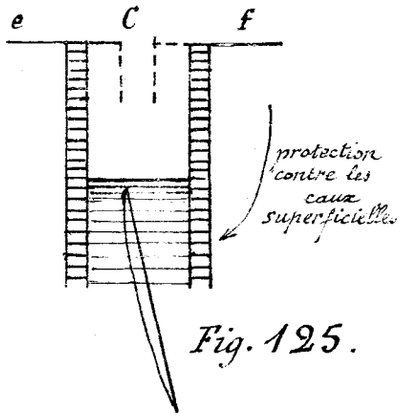


Fig. 125.

Schéma du captage à Maizières

Dans cette microgranulite, il y a une fracture avec porphyre à quartz globulaire (π) le long de laquelle remonte une source thermale, avec proportion notable de sodium et de lithium provenant des granites alcalins de la région. Cette fracture est à une très faible profondeur; le travail romain, repris récemment a consisté à faire un puits; on a

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

entaillé la fracture; on a cimenté et fait une cuve remontant jusqu'au jour, et empêchant la communication des eaux superficielles avec les eaux profondes (Fig. 125).

La source de *Bourbon l'Archambault* (Allier) se trouve dans un massif de gneiss, entouré et recouvert par du Permien (Fig. 119) imperméable, qui empêche les eaux du gneiss de s'échapper. Ce massif de gneiss est traversé par de petites fractures filoniennes avec barytine, strontiane, fluorine, galène. Ce filon N.W.–S.E. est encaissé dans le gneiss; dans le point le plus bas on a plusieurs sorties de sources thermales. Le travail des Romains a consisté à bétonner toute la fissure en pénétrant jusqu'au point où le gneiss est intact (5 à 6 m.); de façon à empêcher tout contact avec les eaux superficielles. D'ailleurs l'eau chaude arrive avec une pression hydrostatique considérable et chasse l'eau froide. Des travaux supplémentaires, inutiles, (a' a'' a'''; fig. 127) ont été faits sous Louis XIII; au-dessus de chacune des émergences, on a fait trois cuves, comme suspendues au-dessus des griffons pour constituer une sorte de cheminée de captage. Dans d'autres points on a fait de même une cheminée superficielle (fig. 128); de façon à faire un réservoir avec un plan de captage élevé. Mais l'eau se trouve en charge et on réduit le débit. Quand on veut augmenter le débit, il faut, au contraire, abaisser le niveau de captage.

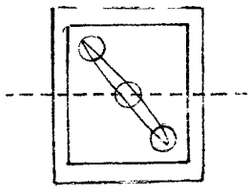


Fig. 126.

Schéma du captage de Bourbon l'Archambault (plan).

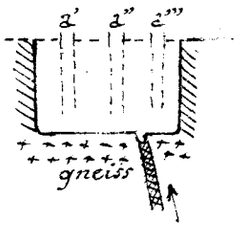


Fig. 127.

Schéma du captage de Bourbon l'Archambault (profil).

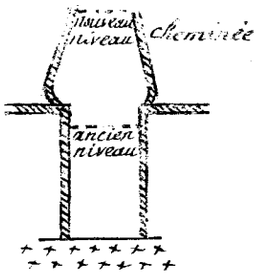


Fig. 128.

La source d'Evaux (Creuse) se trouve le long du grand filon de quartz du Massif-Central (60 km de long) qui draine une grande quantité d'eaux souterraines. La vallée où se trouve la source d'Evaux et qui la détermine continue à descendre vers l'aval; aussi les eaux thermales auraient une tendance à descendre, à se déplacer dans cette vallée. Les Romains ont fait une sorte de barrage dans les alluvions de la vallée, encaissant ainsi complètement la source. De plus pour éviter le mélange avec les eaux froides superficielles on a recouvert le terrain d'une nappe de béton ne laissant qu'un nombre restreint d'orifices.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

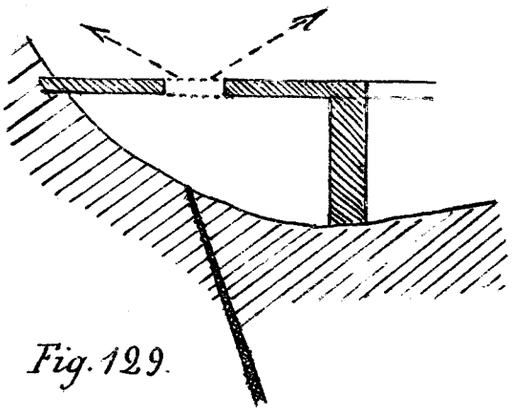


Fig. 129.

Schéma du captage d'Évaux (Creuse).

Eaux gazeuses. — Le problème est plus délicat quand il s'agit d'eaux gazeuses.

A *Chatelguyon*, des failles mettent en contact le granite avec les terrains tertiaires. Des eaux thermales sortent par les fissures qui traversent le granite.

La présence de ces gaz cause de grosses difficultés ; en effet le gaz peut s'accumuler et donner de grosses pressions momentanées (coups de bélier) qui brisent les tuyauteries.

Pour y obvier on avait coiffé d'une coiffe en plomb, l'émergence de la fissure (fig. 130, *d*). Les résultats ont été mauvais ; on a alors établi une double tuyauterie, l'une inférieure *a* servant au passage de l'eau, l'autre supérieure *b* éliminant les gaz. Ces deux conduites se rendent au réservoir où se fait le mélange à nouveau, on évite ainsi les coups de bélier.

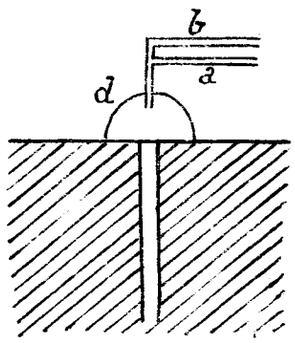


Fig. 130

Schéma des dispositifs employés à Chatelguyon

Eaux thermales provenant d'une fracture à griffon difficilement accessible

Enceintes successives. — Dans certains cas où les terrains sont très fissurés, on a dû faire une série d'enceintes successives ayant pour but d'arrêter sur toute la périphérie les eaux d'infiltration (fig. 131). On se contente quelquefois d'enceintes partielles dans les parties de la périphérie où l'infiltration est maximum.

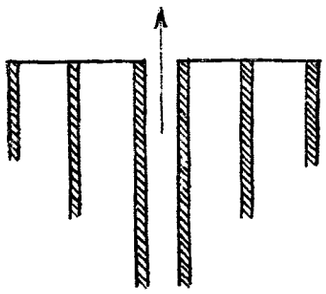


Fig. 131.

Schéma d'une série d'enceintes circulaires de protection dans le Gard.

Au lieu de puits et de sondages, on peut faire des travaux horizontaux, des galeries qui peuvent partir suivant l'allongement du filon ou au contraire aller le recouper perpendiculairement.

La source de *Ragatz* ou de *Pfæfers* (Suisse) sort au fond de la gorge de la Tamina. Elle s'y disperse en une série de sources, l'une importante et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

permanente, les autres éphémères et variables suivant le débit et la pression hydrostatique ;

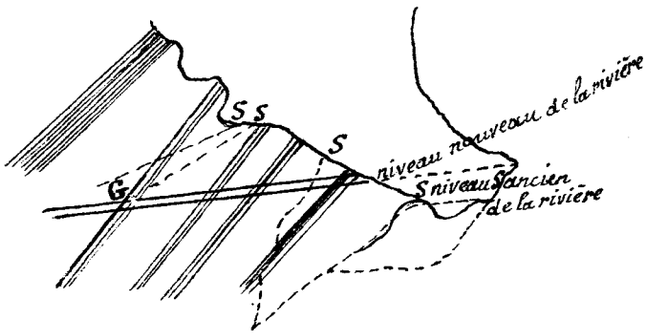


Fig. 132.

Schéma des fissures thermales et des travaux à Ragatz (Suisse).

on a fait une galerie G recoupant la fissure; elle a fourni à l'eau une issue plus facile et a épuisé la plupart des sources secondaires ; cependant une partie de l'eau continuait à s'échapper par le lit du torrent. On a alors relevé l'eau du torrent au moyen d'un barrage ; on a augmenté ainsi la pression de l'eau thermale et elle est passée entièrement par la galerie.

Pressions hydrostatiques...

On est très souvent amené à se servir ainsi des *pressions hydrostatiques*. On a supposé précédemment qu'on pouvait atteindre les sources en place ; mais un grand nombre de sources thermales sortent dans des terrains d'alluvions assez épais, en utilisant une série de fissures souvent très nombreuses.

Dans certaines eaux de Suisse, à Lavey, on a essayé de capter séparément les venues froides et les venues chaudes. Dans un puits de 15 à 20 m. on a mis plusieurs tuyaux et des pompes distinctes ; les résultats ont été médiocres.

Dans l'Ariège, aux eaux d'Ussat en 1838, l'eau sortait dans le lit de la rivière. Quand le fleuve s'élevait, l'eau froide envahissait les fissures d'eaux thermales; quand le fleuve s'abaissait, les eaux thermales s'échappaient dans le lit du fleuve.

L'ingénieur François eût alors l'idée d'employer l'eau froide à faire une ceinture hydrostatique consistant en un canal, rempli par de l'eau froide, venant de l'Ariège; on peut relever la hauteur à volonté de façon à exercer des charges suffisantes pour qu'aucune portion de l'eau thermale captée en A, B, C, (fig. 133) ne puisse s'échapper en dehors de la fissure et pour que l'eau froide ne puisse pénétrer dans la source. Il y a un état d'équilibre piézométrique à établir pour chaque période.

A Cestona (Biscaye, Espagne) il y a une série de fissures, avec venues d'eaux chaudes et d'eaux froides. Pour éviter leur mélange, on a essayé de faire une séries d'enceintes qui furent absolument inutiles. On a creusé alors une grande cuve à double paroi. En accumulant de l'eau froide dans la partie extérieure F, on exerce

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

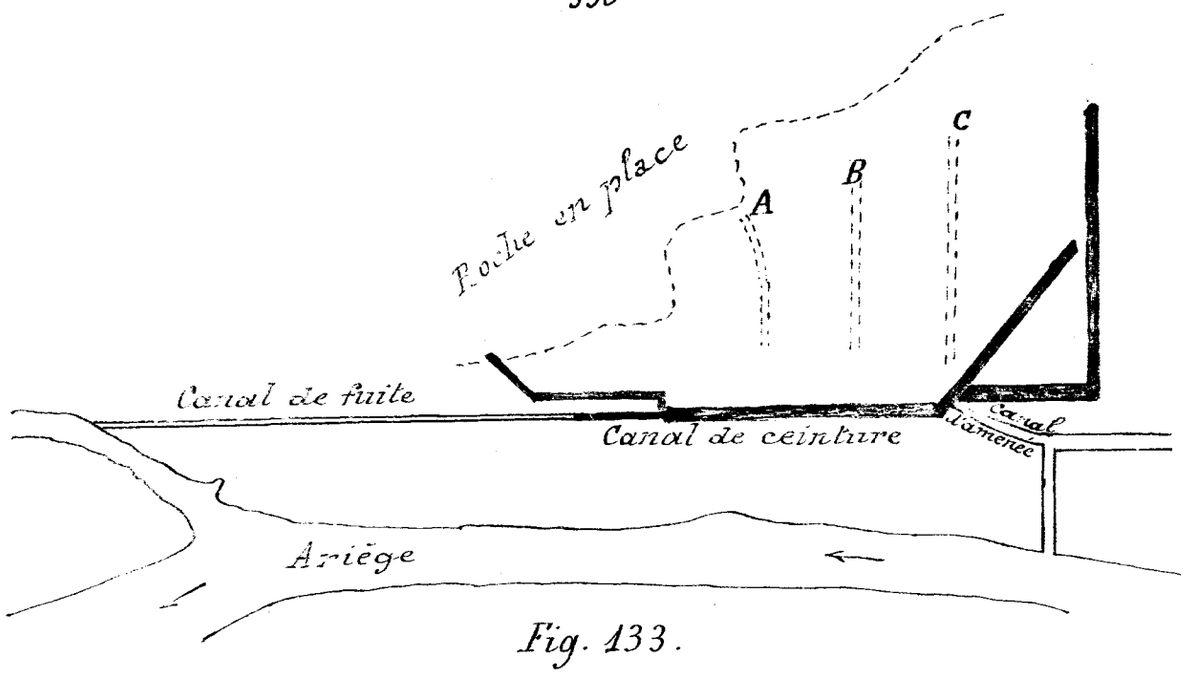


Fig. 133.

Plan schématique du captage et la ceinture hydrostatique des eaux d'Ussat. (Ariège).

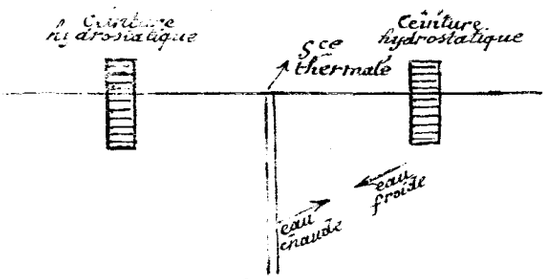


Fig. 134.

Coupe schématique de la ceinture hydrostatique à Ussat.

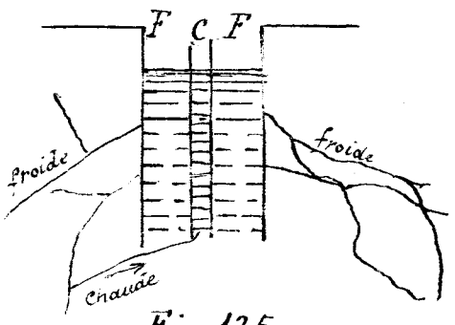


Fig. 135.

Schéma de la disposition adoptée à Cestona. (Espagne).

une charge telle que toute l'eau chaude sort par le tuyau central C, il n'y a aucun mélange des deux sortes d'eaux ; des expériences à la fluorescéine le montrent avec évidence. Cela tient à ce que, deux eaux à pression différente dans un même tuyau ne se mélangent pour ainsi dire pas.

A Bagnères-de-Luchon, on a un terrain schisteux, très fissuré, avec veines de granulites. Les eaux venant de ces veines se disposent dans les alluvions en une série de petites sources. On a reconnu d'abord un certain nombre de points d'émergence S, S', S", plus importants. Des galeries faites à un niveau quelconque ont été recouper les fissures aquifères ; elles se sont nui l'une à l'autre. On les a reprises au même niveau ; on est arrivé au schiste intact et on a fait une galerie d'allongement G qui a recoupé les différentes veines.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

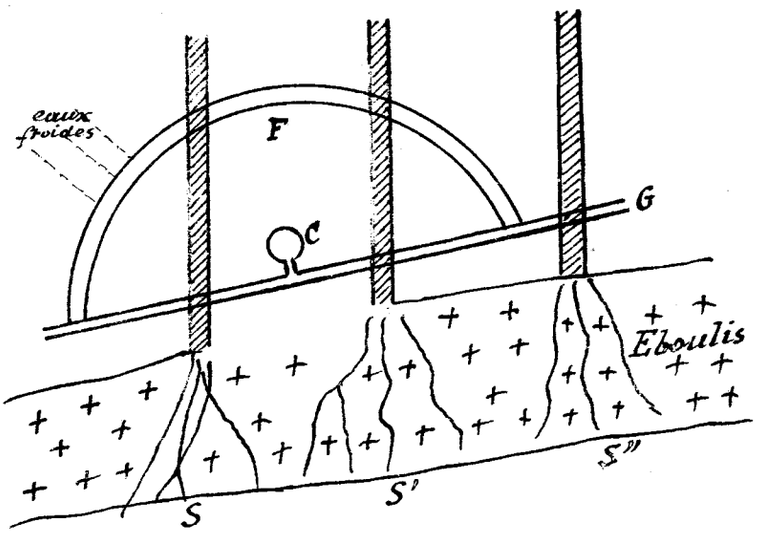


Fig. 136.

Schéma des travaux à Bagnères-de-Luchon (Haute-Garonne.)

On s'est aperçu que ces eaux chaudes étaient mélangées d'eaux froides, on a fait une enceinte circulaire double, l'une intérieure C pour l'eau thermale, l'autre extérieure F pour l'eau froide. Celle-ci exerce une certaine pression sur l'eau thermale et la force à arriver en une seule venue.

Il y a un certain nombre d'applications de ce procédé que l'on pourrait citer encore.

III – Eaux thermales interstratifiées appartenant à une nappe artésienne.

Quand il s'agit d'aller recouper une nappe d'eau thermale, interstratifiée dans les terrains, il suffit de faire un forage comme pour aller chercher une nappe artésienne ordinaire.

Le cas le plus typique est celui du bassin de Vichy, Saint-Yorre. Normalement l'eau venant de la nappe artésienne sous-jacente arrive par une grande fracture. Le captage artificiel se fait en enfonçant des tubes à 20 m environ de profondeur. La seule difficulté consiste à éviter les mélanges d'eau froide et d'eau chaude. Il est nécessaire de faire un double tubage, l'un extérieur par lequel sort l'eau froide, l'autre intérieur par lequel arrive l'eau thermale. De plus, il ne faut pas laisser l'eau et le gaz se mélanger ensemble, sans quoi on risquerait d'avoir des coups de bélier, démolissant la tuyauterie. On dispose alors un petit tube central (tube siphoïde), descendant peu profondément et destiné à permettre l'évacuation des gaz. Dans d'autres sources, au contraire, on dispose une cloche qui se remplit de gaz; lorsque cette cloche est pleine, le gaz chasse l'eau au dehors; on a alors le spectacle d'une source intermittente.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Aménagement des eaux thermales.

Il y a, à cet égard, une série de travaux qui ressortent de l'art de l'architecte. Dans certains cas, il faut réchauffer l'eau, dans d'autres il faut la refroidir, ce qui est parfois plus difficile ; on se heurte souvent à de grosses difficultés pratiques.

L'embouteillage de l'eau, le captage des gaz sont également des opérations délicates.

Fin.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Table des Matières.

But de la Géologie appliquée, 3. — Divisions du Cours, 3

1re Partie. — Notions générales — 3

Exploitabilité d'un gisement, 3 — (Teneur limite, 4 : — Valeur d'un gisement 5). — Prises d'essai, 5 — Prospection d'une mine nouvelle, 5.

Principaux groupes de gîtes métallifères — 7

Gîtes primaires, 7. — G. d'inclusion, 7 — G. de ségrégation, 8 — G. d'imprégnation diffuse, 8. — G. filoniens, 8. — Gîtes secondaires, 8 — Régions minéralisées, 9 — Composition moyenne de l'écorce terrestre, 9.

Moyens d'étude par comparaison avec les phénomènes actuels, 12 — Eaux thermales, 14 — Phénomènes extérieurs à température ordinaire, 17 — altération sur place, 17 — Dissolution avec transport, 17. — Phénomènes mécaniques, 18

Synthèses, 18 — S. à l'état solide, 18 — S. à l'état fondu — S. à l'état gazeux, 19 — S. par dissolution, 19.

Gîtes d'inclusions, 21 — A. Roches basiques, 21 — B. Roches acides, 22

Gîtes de ségrégations, 23. — A. Roches basiques — B. Roches acides, 24. — Gîtes de départ immédiat ou de ségrégation périphérique, 25 — (G. au contact des calcaires du type Banat, 25) — Gîtes d'imprégnations diffuses, 25 — G. hydrothermaux, 26 — Etude de la fracture, 26 — Fr. filoniennes, 26 — (Salbandes, Cuirasses, limites en direction, limites en profondeur). — Fissures locales, 29 — Filons-Couches, 29 — G. en selles, en poches. 29 — Remplissage de cheminées, 30 — G. en chambres, tuyaux, grottes, 30. G. de contact hétérogène, 31 — Vides creusés par les eaux elles-mêmes, 31 — Remplissage des fractures, 32 — Voie ignée ou voie aqueuse, 32 — Per ascensum ou per descensum, 33 — Dissolvant, 33 — Rôle de l'oxygène 33 — Précipitation des métaux, 35 — Divers types de remplissage 35 — Associations minérales 36 (Groupe de l'Etain, Gr. sulfuré). — Zônes de minerais, 37 — Variations en profondeur. 37 — Remises en mouvement, 39 — Epoque de la remise en mouvement, 40 — Allure générale de l'altération superficielle, 41. (Chapeau de fer; zône

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

de cémentation ou boranza). — Gisements de remaniements, 43 — G. détritiques, 44 (Eluvions, 45 — Alluvions, 45. — G. littoraux, 47) — G. dus à des réactions chimiques, 46 (G. d'évaporation saline, 48 — G. de matières métalliques, 48).

Problèmes généraux, 50 — Age des gîtes métallifères, 50 — Relation des filons et des roches ignées, 52 — Provinces métallogéniques, 52.

2ème Partie. Description des conditions propres à chaque métal.

Azote, 54 — Rôle de l'Azote, 54 — Emploi agricole, 55 — G. du Chili, 55

Familles du Fluor, Chlore, Brome, Iode, 58

Fluor, 58 Applications - Statistique, 58. — Chlore, 59. Brome, 59 Iode, 59 Conditions géologiques de gisement, 60. — G. de Fluorine 61. — G. de cryolithe 62

Familles du Soufre, du Sélénium, du Tellure, 63

Soufre, 63 — Gisements de Soufre, 65 — Solfatares, 65 — Solfares, 65 (G. de Sicile, 65. — G. de Louisiane, 67 — G. de pyrite, 68 — G. de Toscane, 69 — Amas, 70 Dimensions des gisements, 71.

Carbone, 73.

Graphite, 73. — Usages, 73. — Statistiques, 74. — Modes de gisements, 74. — Graphite cristallisé en milieu basique. Gr. dans des roches acides. Gr. dans des gneiss et des terrains métamorphiques, 75. — Gr. d'origine sédimentaire, 75.

Diamant. Conditions géologiques, 77

Schistes bitumineux, 78

Pétrole, 79. Usages, 79. — Statistiques, 79. — Géologie des gisements, 81. Pétroles américains, 83 — G. de Galicie, 85. — Pétroles de Roumanie, 86, — P. de l'Emilie, 87 — G. du Caucase, 87. — Allemagne, 88. — France, 88. — Algérie, 89. — Sibérie 89. — Chaînes tertiaires d'Asie, 89. — Japon, 89. — Amérique. 89.

Ambre ou résine fossile, 90. — Ozokérite, 90. — Bitumes, 91. — Asphaltes, 93. — (G. de Seyssel ou de Pyrimont, 93 — G. de Pont-du-Château, 94). —

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Bore, 95. (Statistique 95. — Types de gisements, 95 — Soffioni de Toscane, 95 — G. d'Asie-Mineure, 96. — G. de Stassfurt, 96

Phosphore, 98.

Usages, 98. — Statistiques, 99. — Description géologique, 101 — I Apatite, 101 II. Phosphorites, 102. — Phosphates sédimentaires, 103. — Phosphates noirs, 103. — Ph. du terrain houiller, 104. — Ph. du Jurassique, 104. — Crétacé inférieur, 105. — Crétacé supérieur, 107 — Tertiaire; Algérie, Tunisie, 108. — Formations récentes, 111. — (Quercy, Caroline, Floride, Iles océaniques).

Arsenic et Antimoine, 113

Arsenic, 113. — Usages, 113. — Minerais, 113 — Gisements, 113. — Statistiques, 113. Antimoine, 114. — Usages, 115. — Statistique, 115. — Nature des gisements, 116. — (G. dans la chaîne hercynienne, 116. — G. tertiaire, 117.

Bismuth et Molybdène, 118.

Bismuth, 119. — Usages, 119. — Minerais, 119. — Modes de gisements, 120. — (Gîtes filoniens d'Etain; G. complexes du type plombeux)

Molybdène, 121. — Usages, 121. — Types de gisements, 121. —

Silicium, 123.

Silice, 123. — Sables de verrerie, 123. — Cristal de roche, 123. — Quartz enfumé, 124. — Calcédoine, 124. — Opale, 124. —

Silicates, 125. — Mica, 125. — Amiante, 125. — Ardoise, 126. — Feldspaths et Kaolins, 128.

Gemmes, 131. — Topaze, 131. — Emeraude, 131. — Grenats, 132. — Tourmaline, 132. —

Etain, 133

Statistiques, 133. Production et cours 133. — Centres de production, 134 — Géologie, 137. — Métallogénie, 137. — Minerais, 138. — Types de gisements, 139. — G. de Cornouailles, 139, — G. de Bretagne, 141. — G. du Plateau-Central, 141. — G. du Portugal, 141 — G. de Saxe et Bohême, 142. G. asiatiques 142. — Indes Hollandaises, 144. Australie, 144. — Afrique, 144. — G. tertiaires, 145. —

Uranium, 146.

Tungstène, 148.

Potassium, 150.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Usages, 150. — G de Stassfurt, 151. — G. d'Alsace, 152.

Sodium, 154. — Usages et statistique, 154.

Géologie, 156. — Période silure-dévonienne, 156. — P. permo-triasique, 156. — Gisements tertiaires, 158. — Période actuelle, 160. — Marais salants, 161. — Sulfate de sodium, 162. — Carbonate de sodium, 162.

Lithium, 163.

Calcium, 164.

Calcaires, 164. — Pierre à chaux et à ciments, 166. — Blanc d'Espagne, Craie, 166. Pierres lithographiques 167. — Marbres, 168. — Sulfate de chaux, 170. — Usages et statistiques, 170. Géologie des gisements, 171.

Baryum, 173.

Usages, 173. — Géologie des gisements, 173. — Carbonate de baryum, 175. —

Strontium, 176.

Magnésium, 178.

Usages et statistiques, 178, — Géologie des gisements, 179.

Glucinium, 181.

Aluminium, 182.

Usages et statistiques, 182. — Bauxite, 184. — Alumine cristallisée, 185. Emeri, 186, — Alu[illegible], 187. — Alunite, 187.

Chrome, 189.

Usages et statistiques, 189. — Conditions géologiques, 190. — Fer chromé, 190. — Crocoïse, 191.

Fer, 192.

Usages, statistiques, 192. — Minerais industriels, 192. — Conditions d'exploitation industrielle, 193. — Cours, 194. — Statistique, 195. — Principaux centres de production, 196. Réserves de minerais, 198. — Géologie, 199. — Principaux minerais, 199. — Modes de gisements, 199. Conditions d'utilisation, 201. — Distribution géographique, 203. — Gites d'inclusion, 204. — Gites de ségrégation, 204. Passage des types de ségrégation aux types de contact, 205. — Kiruna-vara, 205. — Oural, 207.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Banat, 208). — Filons, 210. Chapeau de filons pyriteux, 211. — (Cuba) — Altérations superficielles de filons, avec substitution à des calcaires, 213. — (Angleterre, 214; Bilbao, 215, Pyrénées, 216. — Gisements d'origine sédimentaire, 219. — Terrains métamorphiques, 221. — (Mokta-el-Hadid 222; Krivoï-Rog, 223, — Lac Supérieur, 223). — Silurien, 224. — Devonien et Carbonifère, 225. — Lias, 226 (Lorraine). — Bajocien, 229. — Jurassique supérieur et Miocène, 229. — Mers actuelles, 230. — Sédiments lacustres, 230. — Gisement d'altération continentale, 230. — (Berry, 231).

Manganèse, 233.

Usages et statistiques, 233. — Minerais, 234. — Modes de gisement, 234. Filons, 234. — Gîtes de substitution à des calcaires, 235. — Gîtes argentifères, 235. — Minerais stratifiés, 235.

Nickel, 237.

Usages et statistiques, 237. — Minerais, 238. — Modes de gisement, 238. — Inclusions et altérations, 238. — (Nouvelle-Calédonie). Pyrrhotites du Canada, 239. — Gîtes filoniens, 240. Filons plombo-zincifères, 240. — Association de nickel, cobalt, cuivre avec gangue de sidérose, 241.

Cobalt, 242.

Usages et statistiques, 242. — Géologie, 242. — Filons, 243. — District de Cobalt, 243. — Altérations superficielles, 243.

Cuivre, 244.

Usages et statistiques. 244. — Prix du Cuivre, 246. — Géologie, 247. — Principaux minerais, 247. — Rôle métallogénique, 247. — Gisements d'inclusion, 248. — G. de ségrégation, 248. G. d'imprégnations diffuses de profondeur, 249 — (Amas dans des terrains métamorphiques, 250. — Terrains non affectés par le métamorphisme, 251.) — Gisements à allure filonienne, 254. — Départ le long des roches acides, 254. — G. nettement filoniens, 255. — G. de cuivre natif, 257. — (Lac Supérieur, 257, — Bolivie, 258. — Mansfeld, 259.)

Zinc et Plomb, 261.

Usages et Statistiques, 261. — Zinc, 261. — Plomb, 262. — Géologie des gisements, 263. G. d'inclusions et de ségrégations. 263. — Filons concrétionnés, 264. — G. Gisements encaissés dans des roches inattaquables, 264. — Imprégnation stratiforme dans les zônes cristallophylliennes, 264. — (Type filonien minéralisé, 265.) — Filons dans les chaînes hercyniennes

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

266._ Fractures d'âge tertiaire dans la chaine hercynienne. 268._Filons d'âge tertiaire, 271. B. Gisements encaissés dans les calcaires, 273._G. particulièrement plombeux. 273._G. principalement zincifères (amas calaminaires), 276.

Argent, 279._Usages et statistiques, 279._ Détails sur la production, 281. Géologie, 282._Groupe des minerais subordonnés aux filons, 3. G, S, 282._Groupe des minerais d'argent proprement dits, 282._Filons de quartz argentifères, 283._(Gîtes du Mexique, 274). Filons cupro-argentifères, 285,_Filons cobalto-argentifères, 287_Filons à gangue de calcite, 288._(Sarcabas 289)

Mercure, 291._Usages et statistiques, 291._ Géologie, 292,_ (Almaden, 293. etc;_Gîtes de Toscane, 294._ Gîtes de Californie, 295. etc).

Or, 296._Rôle de l'or, 296._Usages, 298._Statistiques, 299._ Répartition des gisements d'or dans le monde, 299._ Géologie, 301._Minerais, 301._ G. en relation directe avec des roches acides. 302. Gisements d'imprégnations diffuses, 302._Faisceau de filons minces, 305._Filons tertiaires, 307._Gisements à allure sédimentaire, 310._(Transvaal, 310)._ Alluvions aurifères, 313.

Platine, 315.

Eaux souterraines, 316._Origine des eaux, 316._ Méthode d'études des nappes souterraines, 317._Méthode d'exploitation directe, 317._Méthode d'observation par travaux souterrains, 317._ (Simplon, 317._Teplitz, 320.)

Parcours des eaux souterraines, 322._I. Infiltrations (Terrains granitiques; loess, Micaschistes, Calcaires) 323._ II. Circulation des eaux souterraines (Sources ordinaires, sources pérennes; sources vauclusiennes, 324._ sources thermales, 325)_III. Retour des eaux thermales à la surface, 326._ Propriétés des sources thermo-minérales, 328.

Captage des eaux souterraines, 329. (Plan de captage, 330._Niveau de captage, 330._Captage proprement dit, 331._Méthodes de captage 331)._I Eaux thermales provenant d'une fracture à griffon accessible, 332._ Eaux non gazeuses, 332._ Maizières, Bourbon l'Archambault, Evaux,) 333._ Eaux gazeuses, (Chatel-Guyon) 334. II Eaux thermales provenant d'une fracture à griffon difficilement accessible, 334. Enceintes successives, 334._(Gard, Ragatz)_Pressions hydrostatiques, 335._(Ussat, 335._Cestona, 335._Bagnères-de-Luchon, 336)_ III Eaux thermales interstratifiées, appartenant à une nappe artésienne, (Nancy) 337._ Aménagement des eaux thermales, 338.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC