

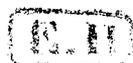
# NOTICE

SUR LES

# TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. L. GRUNER.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

SUCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

—  
1876

# ÉTATS DE SERVICES ET TITRES

DE

M. L. GRUNER.

---

Ingénieur des Mines de l'arrondissement de Saint-Étienne (1834 et 1835).

Professeur de Métallurgie à l'École des Mineurs de Saint-Étienne (1835 à 1847).

Ingénieur en chef des Mines à Poitiers et à Nantes (1847 à 1852).

Directeur de l'École des Mineurs de Saint-Étienne (1852 à 1858).

Président de la Société de l'Industrie minérale, depuis la fondation de la Société, en 1855, jusqu'au moment où M. Gruner dut quitter Saint-Étienne.

Professeur de Métallurgie à l'École des Mines de Paris (1858 à 1872).

Inspecteur des études de l'École des Mines de Paris (1862 à 1870).

Inspecteur général des Mines depuis 1866.

Vice-Président du Conseil général des Mines depuis 1873. (Le Ministre est Président.)

Président de la Commission centrale des machines à vapeur depuis 1873.

Président de la Société géologique en 1865.

Membre du Comité des Arts chimiques de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale depuis 1872.

Membre du Jury de l'Exposition universelle de Vienne en 1873.

Membre *honoraire* de l'American Institute of Mining Engineers depuis 1874. (Sur un nombre total de quatre Membres honoraires.)

Membre *honoraire* de l'Iron and Steel Institute depuis 1875. (Sur un nombre total de huit Membres honoraires.)

---

---

# NOTICE

SUR LES

## TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE M. L. GRUNER.

---

### *Résumé général des Études et des Publications.*

Les travaux scientifiques dont je vais rendre compte me furent en grande partie imposés par mes fonctions d'ingénieur des Mines.

Ces travaux sont de deux sortes :

D'une part, chargé de l'étude géologique générale du département de la Loire et de celle de plusieurs de nos bassins houillers, j'ai dû m'occuper plus particulièrement des terrains anciens, des roches éruptives, des filons métallifères et des dépôts houillers.

D'autre part, l'enseignement de la Métallurgie m'ayant été confié à Saint-Étienne d'abord, à Paris ensuite, je fus amené à entreprendre, au laboratoire et dans les usines, de nombreuses recherches sur les combustibles, la nature des minerais, leur mode de traitement, etc.

Les résultats de ces études variées sont consignés dans les *Annales des Mines*, le *Bulletin de la Société géologique*, les *Annales de la Société d'Agriculture, Sciences et Arts de Lyon*, les *Comptes rendus*, les *Annales de Chimie et de Physique*, etc.

Les travaux plus étendus forment cinq ouvrages spéciaux dont voici les titres :

1° *Carte et coupes du bassin houiller de la Loire*, avec texte explicatif; 1847.

2° *Description géologique du département de la Loire.* 1 vol. grand in-8° avec atlas, 1857. (Une médaille fut décernée à l'auteur de l'ouvrage par le Jury de l'Exposition universelle de Londres de 1862.)

3° *Étude des bassins houillers de la Creuse.* 1 vol. in-4° avec atlas; 1868.

4° *État présent de la métallurgie du fer en Angleterre.* 1 vol. grand in-8°; 1862. (Publié en commun avec M. Lan à la suite d'une mission en Angleterre, lors des enquêtes pour les traités de commerce.)

5° *Traité de Métallurgie.* Le premier volume, avec atlas in-folio, a paru en 1875. Le second volume est en voie de publication.

Outre ces cinq volumes, un certain nombre des plus importants Mémoires, insérés dans les *Annales des Mines*, furent aussi publiés à part. On peut citer les Mémoires intitulés :

*De l'agglomération des combustibles; 1865.*

*De l'acier et de sa fabrication; 1867.*

*Procédé Heaton et aciers phosphorés; 1869.*

*Études sur les hauts-fourneaux; 1873.*

*État présent de la métallurgie du plomb; 1868.*

Rappelons enfin que, chargé de la direction de l'École des Mineurs de Saint-Étienne (1852 à 1858), j'ai dû me préoccuper de tout ce qui pouvait compléter utilement l'instruction des futurs directeurs de mines et d'usines; c'est le motif qui a amené, en 1855, la création de la Société de l'Industrie minérale de Saint-Étienne. Cette Société comprend aujourd'hui plus de 700 membres, et ses publications forment une série de vingt volumes avec un bel atlas de plusieurs centaines de planches. Lors du Concours ouvert, en 1861, entre les Sociétés savantes des départements, la Société de l'Industrie minérale a reçu, pour ses travaux, une médaille d'argent, qui fut décernée à M. Gruner, avec le titre honorifique de fondateur de la Société, par le vote unanime des membres, réunis en assemblée générale à Saint-Étienne, en décembre 1862.



## I. TRAVAUX CHIMIQUES ET MÉTALLURGIQUES.

### I. — *Combustibles.*

La connaissance des propriétés essentielles des combustibles, l'étude des houilles en particulier, est indispensable au métallurgiste. Ce motif explique les travaux suivants :

*Caractères et classification des houilles.* — En 1841, une première série d'essais sur les houilles du bassin de la Loire. (*Annales des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. I<sup>er</sup>, p. 701.)

Ces essais ont été poursuivis, d'année en année, à mesure que de nouvelles couches étaient entamées. En 1852, les résultats furent résumés et publiés dans un Mémoire intitulé : *Description et classification des houilles du bassin de la Loire.* (*Annales des Mines*, 5<sup>e</sup> série, t. II, p. 511.)

Ce travail donne la composition immédiate de quatre-vingt-six houilles des bassins de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier, rangées sous les quatre types de houilles *anthraciteuses*, houilles *grasses à courte flamme*, houilles *grasses ordinaires* et houilles *grasses à longue flamme*.

La classification est basée sur les proportions relatives de coke, de goudron, d'eau et de gaz fournies par la distillation lente dans une cornue, et par la carbonisation brusque dans un creuset. Ce mode d'essai, suivi de l'incinération du coke, fait mieux connaître la véritable nature des houilles et les usages auxquels elles sont propres que l'analyse élémentaire, qui, bien souvent, ne s'accorde nullement avec les propriétés physiques et chimiques des combustibles.

Plus tard (1854 et 1855), ce travail fut étendu à dix-sept nouvelles houilles du bassin de la Loire. (*Annales des Mines*, 5<sup>e</sup> série, t. X, p. 75.)

Outre cela, on a essayé, par le même procédé, les anthracites du Roannais, ainsi que les houilles et les anthracites des bassins de la Creuse. (*Annales des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. X, p. 665, et 5<sup>e</sup> série, t. X, p. 78.)

Enfin, on a aussi examiné un certain nombre de houilles de Bességes et de Graissessac, ainsi que des lignites et des schistes bitumineux du Vicentin et de Nucetto (Italie), de Thonon (Savoie), de Lérida et de Carthagène (Espagne). (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XX, p. 558; 4<sup>e</sup> série, t. I<sup>er</sup>, p. 717, t. VI, p. 585, et t. XIV, p. 269 et 328.)

Plus tard, lorsque MM. Scheurer-Kestner et Ch. Meunier eurent déterminé directement le pouvoir calorifique de divers combustibles, j'ai montré, dans un nouveau Mémoire, que la chaleur de combustion des houilles de toute origine croît et décroît avec la proportion de coke pur (privé de cendres) que laissent ces combustibles, lorsqu'on les soumet à la calcination en vases clos; et qu'en général l'analyse *immédiate* donne une image plus vraie des propriétés essentielles des houilles (pouvoir calorifique, pouvoir agglomérant, proportion de coke et de cendres) que l'analyse élémentaire. (*Ann. des Mines*, 7<sup>e</sup> série, t. IV, p. 169.) Les cinq types de houilles sont caractérisés par les proportions suivantes de carbone fixe :

	Carbone fixe dans la houille privée de cendres.
Houilles sèches à longue flamme.....	0,50 à 0,60
Houilles grasses à longue flamme (charbons à gaz).....	0,60 à 0,68
Houilles grasses ordinaires (charbons de forge).....	0,68 à 0,74
Houilles grasses à courte flamme (charbons à coke).....	0,74 à 0,82
Houilles maigres anthraciteuses.....	0,82 à 0,90

Les combustibles minéraux qui laissent moins de 0,50 de carbone fixe sont des *lignites*; ceux qui en donnent plus de 0,90, des *anthracites*.

*Emploi des combustibles.* — Après l'étude de la nature intime des combustibles vient celle de leur *meilleur emploi*, c'est-à-dire du mode de combustion le plus avantageux.

Dès 1855 (*Bulletin de l'Industrie minière*, t. I<sup>er</sup>, p. 239), je faisais ressortir, par divers exemples, les inconvénients des foyers à *grilles* et les avantages de la gazéification des combustibles solides. Le même sujet est examiné, d'une façon plus complète, dans le tome I<sup>er</sup> du *Traité de Métallurgie*. (*Voir les Chapitres consacrés aux combustibles gazeux et à la combustion.*)

*Préparation des combustibles.* — Une troisième question est celle de la *préparation* des combustibles. Les combustibles *menus* brûlent difficilement, il faut les *agglomérer*. Cette question est longuement étudiée dans un Mémoire ayant pour titre : *Agglomération des combustibles minéraux*. (*Ann. des Mines*, 1865, 6<sup>e</sup> série, t. II, p. 149.) On fait surtout ressortir l'importance du ciment et celle de sa répartition uniforme par un malaxage prolongé.

*Carbonisation des combustibles.* — Enfin la *carbonisation* des combustibles m'a préoccupé à diverses époques. Signalons, en particulier, les Notices

sur la carbonisation du bois par la méthode italienne, et la préparation du charbon roux (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. VII, p. 3, et t. XIII, p. 595); puis une étude comparative sur le mérite relatif des divers systèmes de fours employés pour la carbonisation de la houille en vases clos. (*État présent de la métallurgie du fer en Angleterre*, p. 122.)

*Chaleur possédée par les produits métallurgiques, et effet utile des fourneaux.*  
— Aux combustibles se rattache la question importante de l'utilisation de la chaleur dans les appareils métallurgiques. Pour résoudre cette question, il fallait connaître les chaleurs possédées par les produits métallurgiques au moment de leur fusion ou de leur sortie hors des fourneaux. On a donc entrepris, au laboratoire et dans les usines, une série d'expériences *calorimétriques*, qui sont rapportées dans deux Mémoires des *Annales des Mines* (7<sup>e</sup> série, t. IV, p. 224, et t. VIII, p. 160).

En voici les principales conclusions :

Les laitiers les <i>moins fusibles</i> retiennent, en général, au moment de leur coulée hors des fourneaux.....	450 à 500 <sup>cal</sup>
Mais beaucoup de laitiers, plus fusibles, ne réclament, pour leur fusion, pas au delà de.....	400 à 450
Le verre blanc exige, pour être soufflé.....	415 à 420
Le verre à bouteilles.....	380 à 400
Les scories siliceuses à base de manganèse et de fer des fours Martin réclament pour leur fusion.....	410 à 415
Les scories bi ou tri-silicatées des fontes crues des minerais de cuivre.	405 à 410
Les scories ferrugineuses des usines à fer et à plomb, tenant 30 à 35 pour 100 de silice.....	320 à 350
Les mêmes scories, à moins de 28 pour 100 de silice.....	275 à 300
Les fontes de fer fortement carburées.....	225 à 235
Les fontes siliceuses peu carburées.....	250
Mais, au sortir des hauts-fourneaux, ces mêmes fontes possèdent souvent.....	300 à 310
L'acier ordinaire exige, pour fondre.....	300
Mais il possède souvent, au sortir de l'appareil Bessemer, au delà de.	310
Le cuivre rouge fond à la même température que les fontes grises, mais n'absorbe que.....	160 à 165
Les mattes ferro-cuivreuses exigent pour leur fusion.....	230 à 240
Mais elles possèdent souvent, au sortir des fourneaux.....	270 à 280
Les mattes plombo-ferreuses absorbent, dans les mêmes circonstances, 30 à 35 calories de moins.	
Enfin, à la chaleur de fusion des fontes de fer, le plomb n'absorbe que.	50

A l'aide des données précédentes, on a déterminé, pour un certain nombre de fours de fusion, le rapport entre la chaleur utilisée et la chaleur engendrée. On a trouvé ainsi, comme limites extrêmes de chaleur utilisée, à peine 2 pour 100 dans les fours à vent servant à la fusion de l'acier en creusets, et par contre près de 80 pour 100 dans les grands hauts-fourneaux à fer marchant bien. (*Ann. des Mines*, 7<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 173.) Il s'agit bien entendu de la chaleur réellement *engendrée*, et non de la chaleur totale que le combustible aurait pu développer, s'il ne s'était pas formé d'oxyde de carbone.

## II. — *Agents métallurgiques divers.*

Après les combustibles, il fallait étudier les *matériaux réfractaires*, les *fondants*, les *argiles*, les *marnes*, etc.

Citons simplement les volumes où se trouvent quelques analyses entreprises dans ce but. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XX, p. 539 et 544 ; 4<sup>e</sup> série, t. VI, p. 587, t. VIII, p. 717, t. X, p. 661.)

## III. — *Appareils métallurgiques.*

*Dimensions des fourneaux.* — L'étude comparative des principaux types de fourneaux, ainsi que celle des rapports qui doivent exister entre les dimensions des diverses parties d'un même fourneau, sont l'une et l'autre fort importantes. J'ai cherché surtout à déterminer les rapports qui lient le volume intérieur des fourneaux au poids du combustible brûlé. Dans ce but, profitant des documents recueillis dans un grand nombre d'usines, je préparai, dès 1860, pour les élèves de l'École des Mines, des tableaux autographiés qui, résumés et complétés, sont publiés dans le tome I<sup>er</sup> du *Traité de Métallurgie* (p. 216 à 223 et 257 à 264).

*Forme des fours à cuve.* — L'influence de la forme et des dimensions des appareils sur la marche des opérations métallurgiques est surtout considérable dans les fours à cuve et spécialement dans les hauts-fourneaux à fer. Deux Mémoires s'occupent de cette question. Le premier a pour titre : *Note sur les fours à cuve à section rectangulaire, ovale ou circulaire* (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. III, p. 337); le second, beaucoup plus développé, *Etudes sur les hauts-fourneaux*.

Cette dernière étude prouve combien les profils *élancés* sont, à tous égards, supérieurs aux cuves larges et *trappues*. Les gaz chauds réducteurs ne se répartissent jamais uniformément, au travers de la charge minérale, dès que les fours sont larges. (*Ann. des Mines*, 7<sup>e</sup> série, t. II, p. 1.)

*Appareils à air chaud.* — Parmi les appareils métallurgiques, l'un des plus importants est celui qui sert au chauffage du vent. On sait que l'on atteint ce but à l'aide de calorifères assez variés : les uns sont fondés sur la conductibilité de la fonte, les autres sur le principe de la *régénération*, ou plutôt sur celui de la *rétrocession* de la chaleur absorbée, mis en pratique par Ericson et Siemens. Une étude comparative et raisonnée de tous ces appareils m'a paru indispensable. Elle m'a conduit au Mémoire publié dans le tome II des *Annales des Mines* de 1872, page 305, et au travail plus développé, sur le même sujet, inséré dans le tome I<sup>er</sup> du *Traité de Métallurgie*, page 352.

*Appareils de chargement.* — Un autre appareil, qui exerce une influence majeure sur la marche des fours à cuve, est celui qui opère la prise des gaz et le chargement des minerais et du coke. Si le chargement se fait mal, les gaz suivent les parois du four et ne réduisent pas la colonne centrale des minerais chargés. Nous avons appelé, dès 1862, l'attention des métallurgistes sur cette question dans l'*État présent de la métallurgie du fer en Angleterre*, p. 132 et 146.

Une courte Notice, publiée en 1865, à la suite d'un Mémoire de M. S. Jordan, professeur à l'École centrale, traite le même sujet. (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. VII, p. 109.)

#### IV. — *Métallurgie du fer.*

Mes travaux chimiques se sont de préférence portés sur la métallurgie du fer, à cause de son extrême importance. Ces travaux embrassent les *minerais*, leur *préparation*, leur *fusion*, leur *réduction*; puis l'*affinage de la fonte* pour fer doux et pour acier.

##### 1<sup>o</sup> *Minerais de fer.*

De nombreux minerais de fer ont été analysés par mes soins au laboratoire de l'École des Mines de Saint-Étienne.

Je citerai spécialement :

Les hématites brunes tertiaires de Rustrel (Vaucluse), avec les fontes et les laitiers qui en proviennent; ainsi que divers minerais des environs de Bort (Corrèze), en vue d'un haut-fourneau à créer. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XX, p. 539 et 546.)

Une série de minerais de fer de Saône-et-Loire, recueillis par M. Manès, alors ingénieur en chef de ce département; entre autres, le minerai de Chizeuil, traité au Creuzot, et contenant 4 pour 100 de soufre. Ce minerai sulfureux forme le chapeau de fer d'un puissant filon pyriteux qui vient d'être concédé à la Société de Saint-Gobain, à la suite de recherches entreprises d'après mes indications. (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. I, p. 720.)

Divers minerais des départements de la Loire, de l'Allier et de l'Isère et des environs de Porto (Portugal). (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. I, p. 724.)

Une étude complète, géologique et chimique, des minerais de fer des environs de Privas et de ceux du canton de Saint-Ambroix (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. VII, p. 347, et t. XIV, p. 270). On sait qu'en général, comme on vient de le voir pour Chizeuil, les pyrites se transforment à l'air en oxydes hydratés. A Privas, j'ai pu constater, sur certains points du gîte, la transformation inverse du peroxyde en bisulfure de fer.

La même année, 1846, une étude analogue des minerais de fer du massif des Maures, dont l'existence avait été signalée par M. Coquand. Dans les micaschistes, les stéaschistes et les gneiss de ce massif, on rencontre du fer oligiste micacé (*itabirite*), du fer oxydulé magnétique cristallisé, de puissants bancs de fer oxydulé compacte, dans une gangue de protosilicate et de bisilicate de fer, c'est-à-dire dans une roche formée de grenats rouges opaques et d'amphibole ferrugineuse. Ce dernier minéral, qui était alors nouveau, se présente, sous forme d'aiguilles soyeuses, d'un gris vert pâle, que je fis connaître sous le nom de *pyroxène ferrugineux*, et que les minéralogistes Rammelsberg, Kenngott et Dana m'ont fait l'honneur d'appeler *Grunérite*. Sa pesanteur spécifique est de 3,713 et sa formule celle d'un bisilicate de protoxyde de fer. D'après M. Des Cloizeaux, ses propriétés optiques le font plutôt rentrer dans le groupe des amphiboles que dans celui des pyroxènes proprement dits. Le Mémoire complet a paru dans les *Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série t. XIV, p. 285, et par extraits, dans le *Bulletin de la Société géologique*, 2<sup>e</sup> série, t. VI, p. 659, ainsi que dans les *Comptes rendus*, t. XXIV, p. 794.

2° *Préparation des minerais de fer.*

En faisant connaître aux lecteurs des *Annales des Mines* le four annulaire Hoffmann, je me suis appliqué à montrer que ce four serait éminemment propre à la calcination des minerais de fer et des castines; j'évaluai en outre l'avantage qu'offre, dans les hauts-fourneaux, au point de vue calorifique, l'emploi de la chaux vive en remplacement du calcaire ordinaire. (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. XX, p. 325.)

3° *Réduction et fusion des minerais de fer.*

La réduction et la fusion des minerais de fer ont été étudiées à divers points de vue. On a déjà cité l'influence qu'exercent sur ces opérations la forme et les dimensions des hauts-fourneaux, le mode de chargement des minerais, les appareils de prise de gaz, etc. Il reste à mentionner l'action spéciale de l'oxyde de carbone et du charbon solide sur les minerais, ainsi que celle de la température du vent. Ces questions sont spécialement traitées dans trois Mémoires dont les titres sont : *Dédoublement de l'oxyde de carbone*; *Etudes sur les hauts-fourneaux*; et *Notice sur l'origine du charbon floconneux* que l'on rencontre dans certaines parties de l'intérieur des hauts-fourneaux.

*Dédoublement de l'oxyde de carbone.* — Le premier de ces Mémoires a été présenté à l'Académie des Sciences, en juillet 1871. Une Commission, composée de MM. Boussingault, Balard, Fremy et H. Sainte-Claire Deville rapporteur, termine ainsi son Rapport sur ce Mémoire :

« En résumé, le travail de M. Gruner contient un grand nombre de faits  
 » de la plus haute importance pour l'étude des propriétés du gaz oxyde  
 » de carbone, de son action sur le fer et les oxydes de fer, pour la théorie  
 » de la fabrication du fer et de la cémentation, et nous demandons à l'A-  
 » cadémie de vouloir bien insérer son Mémoire dans le *Recueil des Savants*  
 » étrangers ».

Le Mémoire fut en effet imprimé en tête du t. XXII du *Recueil des Savants étrangers*, et M. Dumas a bien voulu l'insérer en outre dans les *Annales de Chimie et de Physique* de 1872 (4<sup>e</sup> série, t. XXVI, p. 5).

Il serait trop long de reproduire ici les conclusions de ce Mémoire. Rap-

pelons seulement que l'oxyde de carbone se dédouble en carbone et acide carbonique ( $2\text{CO} = \text{CO}^2 + \text{C}$ ), toutes les fois qu'il réagit, vers 300 degrés à 400 degrés, sur de l'oxyde de fer partiellement réduit. Il faut la présence simultanée du fer métallique et d'un peu d'oxyde, ou bien, si le métal est isolé, à la place de l'oxyde, un mélange de CO en excès et de  $\text{CO}^2$ . Au rouge vif, le dépôt charbonneux ne se produit plus.

Ce dédoublement de CO a lieu vers le haut et dans toutes les parties *peu chaudes* des hauts-fourneaux. A chaque unité de carbone ainsi déposé correspond d'ailleurs un dégagement de chaleur de 3134 calories. Ce carbone en poudre facilite ensuite la réduction finale du minerai dans les parties inférieures des fourneaux.

*Études sur les hauts-fourneaux.* — Les études sur les hauts-fourneaux ont paru en 1873; elles furent insérées d'abord dans les *Annales des Mines* (7<sup>e</sup> série, t. II, p. 1), puis publiées à part et presque aussitôt, à l'insu de l'auteur, traduites en allemand, en anglais et en suédois, et en outre réimprimées dans la *Revue universelle* de Liège.

On s'est proposé, dans ces études, d'étendre les travaux d'Ebellen et de Bunsen aux nouveaux hauts-fourneaux à production élevée; de faire connaître un procédé de prise de gaz, pour les analyses, donnant des résultats plus précis que ceux employés jusqu'alors; de montrer le rôle que joue, dans les hauts-fourneaux, le dédoublement de l'oxyde de carbone; d'établir enfin, par une balance aussi exacte que possible, entre la chaleur *engendrée* et la chaleur *utilisée*, l'influence que les dimensions principales de la cuve et la température du vent exercent sur la marche des hauts-fourneaux.

Dans la courte période de 1861 à 1870, certains hauts-fourneaux anglais avaient subi une transformation radicale; leur capacité avait passé de 150 à 1200 mètres cubes; leur hauteur, de 14 ou 15 mètres à 25 ou 30 mètres; leur production, de 20 ou 25 tonnes par vingt-quatre heures à 60 et 80 tonnes, enfin la température du vent, de 300 degrés à 600 ou 700 degrés. Il importait de rechercher si, comme le prétendaient quelques métallurgistes anglais, ces modifications étaient toutes réellement utiles et partout applicables, si la production des hauts-fourneaux pouvait croître, en quelque sorte indéfiniment, avec la capacité des cuves, si la consommation enfin était d'autant plus faible que la température du vent était plus élevée et la hauteur des fourneaux plus considérable.

Les *Études sur les hauts-fourneaux* répondent à ces diverses questions, et

donnent un moyen fort simple d'apprécier, dans chaque cas particulier, l'économie relative de la marche de ces vastes appareils.

*Notice sur le carbone floconneux.* — Cette Notice fut lue au Congrès que l'Association pour l'avancement des Sciences a tenu à Lyon, en août 1873 (p. 329). Elle montre, par des observations directes, que l'oxyde de carbone se dédouble réellement dans toutes les parties relativement froides des hauts-fourneaux, et que le charbon *floconneux*, qui s'y dépose en masses abondantes, a la même composition que celui obtenu, dans les laboratoires, par l'action prolongée de l'oxyde de carbone sur les minerais de fer à la température de 300 à 400 degrés.

La question des hauts-fourneaux a été aussi longuement traitée, avec la collaboration de M. Lan, dans l'ouvrage déjà cité sur l'*Etat présent de la métallurgie du fer en Angleterre*. On a cherché surtout à montrer entre quelles limites on peut faire varier le volume du vent et la capacité intérieure des fourneaux, par tonne de fonte produite, sans amener de graves dérangements.

Citons encore une Notice sur l'influence des creusets-*puisards* (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. VI, p. 34); une récente Communication à l'Académie sur la formation du *sulfure de potassium* dans certains hauts-fourneaux à fer (*Comptes rendus* du 6 mars 1876); enfin une courte Notice sur la fabrication des fontes qui peuvent être affinées par le procédé Bessemer (*Ann. des Mines*, 7<sup>e</sup> série, t. III, p. 154).

#### 4<sup>o</sup> Affinage de la fonte pour fer et acier.

La question de l'affinage de la fonte est l'une des plus importantes de la métallurgie. Elle m'a surtout préoccupé aux époques où de nouvelles méthodes d'affinage ont remplacé les anciens procédés.

*Puddlage pour acier.* — La première de ces modifications est la substitution de l'acier puddlé à l'acier de forge. Dans un travail, publié en 1859 (*Ann. des Mines*, 5<sup>e</sup> série, t. XV, p. 291), on a cherché à fixer, par l'analyse chimique, les conditions nécessaires pour la production de l'acier puddlé.

Il faut pour obtenir de l'acier :

1<sup>o</sup> Des fontes pures, manganésifères, fortement carburées ;

2° Une température élevée avec réaction oxydante modérée;

3° Des scories fluides, riches en manganèse et bibasiques. Il ne faut pas que l'oxyde de fer soit assez abondant pour s'isoler sous forme d'oxyde magnétique.

On a constaté aussi que les additions de sel marin, ou de sel marin et d'oxyde de manganèse, facilitent l'affinage. Il ne se dégage pas de chlore; mais les scories sont rendues plus fluides; elles retiennent jusqu'à 1 pour 100 de soude.

Mentionnons, en passant, les observations critiques, publiées en 1857 dans le *Bulletin de l'Industrie minière*, t. III, p. 467, sur le travail que MM. Calvert et Johnson venaient de faire paraître sur le puddlage.

*Affinage Bessemer.* — Il y a vingt ans, en août 1856, M. Bessemer communiqua à l'Association britannique pour l'avancement des Sciences un Mémoire important sur un mode d'affinage entièrement nouveau. L'ingénieur inventeur pensait alors pouvoir obtenir directement de l'acier fondu avec les fontes anglaises les plus communes.

Dans une première Note, publiée en 1857 (*Bulletin de l'Industrie minière* t. II, p. 199), je montrai que cette prétention était inadmissible, que le phosphore et le soufre ne pourraient être expulsés dans ces conditions. L'expérience a confirmé ces prévisions; M. Bessemer le reconnut lui-même en 1859. Le phosphore ne peut être expulsé, parce que, dans un appareil à parois d'argile, les scories sont toujours trop siliceuses. Cette influence fâcheuse des scories siliceuses a été signalée dans deux Mémoires spéciaux, publiés, l'un en 1860 (*Ann. des Mines*, 5<sup>e</sup> série, t. XVIII, p. 554), l'autre en 1862, avec la collaboration de M. Lan, dans l'*État présent de la métallurgie du fer en Angleterre*, p. 807.

*Nature de l'acier.* — La question de l'affinage de la fonte, et surtout la question de l'acier, a été traitée dans un Mémoire plus étendu, publié en 1867 dans les *Annales des Mines*, et peu après sous forme de tirage à part. (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. XII, p. 207.)

On prouve, dans ce travail, que l'acier n'est qu'un état intermédiaire entre le fer doux et la fonte; que les défauts de certains aciers sont dus à la présence de substances étrangères qui nuisent également à la ténacité des fers doux et des fontes; que l'acier n'est que l'un des termes de la série continue qui va de la fonte la plus impure au fer le plus doux; que l'acier et la fonte *tremés* renferment le carbone à l'état combiné ou plutôt en dissolu-

tion ; que ces mêmes fontes et ces aciers abandonnent une partie du carbone sous forme de graphite dès qu'ils subissent un refroidissement graduel ; que la dureté de l'acier croît avec sa teneur en carbone, et son aigreur avec la dose des éléments étrangers.

Ajoutons que ce travail renferme aussi une étude comparative des diverses méthodes, anciennes et modernes, de fabrication de l'acier.

*Aciers phosphorés.* — Le *phosphore*, on vient de le dire, est l'une des substances qui nuit le plus à la qualité de l'acier ; malheureusement ce corps ne peut être séparé du minerai, par des procédés économiques, ni avant ni pendant sa fusion au haut-fourneau.

Il faut donc chercher à *déphosphorer* la fonte. On y arrive partiellement, à l'aide du mazéage et du puddlage, sous l'influence de scories *basiques*.

Un maître de forges anglais, *Heaton*, a cherché à réaliser une déphosphoration plus complète en faisant agir le nitre brut du Pérou sur la fonte, en fusion, dans un appareil fort ingénieux. J'ai étudié le procédé, d'abord en Angleterre, puis dans une usine d'essai, établie à la Villette (Paris). Le métal fut analysé avant et après chaque opération, ainsi que les scories alcalines qui devaient retenir l'acide phosphorique. On a constaté que le phosphore pouvait être séparé dans ces conditions, dans le cas seulement de fontes *peu siliceuses*. On retrouve alors, dans les scories alcalines, jusqu'à 15 et 16 pour 100 d'acide phosphorique, et tout le vanadium sous forme d'acide vanadique.

Lorsque des fontes très-siliceuses sont soumises à l'action d'une proportion insuffisante de nitre, il se produit, par l'oxydation du silicium, une température extrêmement élevée, qui volatilise une partie de la soude, réduite en sodium par l'influence combinée du carbone et du fer ; il semble même, d'après les analyses, que le sodium entraîne alors une partie du phosphore.

Le fer, partiellement déphosphoré, a pu être transformé en acier fondu. Fairbairn assurait même, à la suite de quelques essais de traction, que ces aciers *Heaton* étaient plus tenaces que les meilleurs aciers fondus ; mais ce savant s'est borné à constater la résistance *statique*, ou la résistance *vive élastique*, et non la *résistance vive de rupture* ; or ces aciers, qui retiennent toujours 0,002 à 0,003 de phosphore, sont *aigres* et s'allongent fort peu dès qu'ils renferment en même temps 0,005 à 0,006 de carbone. Le choc, ou une simple vibration, peut causer leur rupture. Les aciers phosphorés sont éminemment rigides et élastiques.

Ces divers faits sont exposés dans deux Mémoires, dont l'un a pour titre : *Examen du procédé Heaton*, 1869 (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. XVI, p. 199); l'autre : *Propriétés mécaniques des aciers phosphorés*. (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. XVII, p. 346.)

Ajoutons que si, depuis lors, on a reconnu, à l'usine de Terre-Noire, que certains aciers peuvent contenir impunément 0,002 à 0,003 de phosphore, il convient de remarquer que ces *prétendus* aciers ne sont en réalité que du *fer doux fondu*, car ils ne se trempent pas et ne résistent aux chocs que lorsqu'ils renferment, à côté du phosphore, au plus 0,001 à 0,002 de carbone.

Mentionnons enfin, sur cette même question des fontes, fers et aciers, deux autres Notices, publiées, l'une dans les *Annales des Mines*, l'autre dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*.

*Traitement direct des minerais pour fer et acier.* — La première Notice est consacrée à une étude comparative des procédés *Martin*, *Siemens*, *Sievier*, *Chenot fils*, *Ponsard*, *Ellershausen*, etc., qui, tous, cherchent à préparer l'acier et le fer plus ou moins directement avec les minerais. (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. XVI, p. 281.) Le travail se termine par l'appréciation critique du four *Boëtius*, qui diffère du four Siemens en ce que les gaz et les vapeurs combustibles y sont directement brûlés, au sortir du générateur, avant d'avoir perdu leur chaleur propre. L'air de combustion est chauffé par les parois du générateur lui-même.

*Aciers au tungstène.* — La seconde Note est relative à l'acier tenant du tungstène et du titane. (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, 2<sup>e</sup> série, t. XX, p. 84.) On connaît depuis longtemps l'acier au tungstène; on sait que ce corps augmente la dureté et, jusqu'à une certaine limite aussi, la ténacité. Au delà de 3 pour 100 de tungstène, l'aigreur croît rapidement. Le plus souvent on y a constaté de 0,50 à 1 pour 100 de tungstène; cependant la *Titanic forest steel Works Company* vend, sous le nom spécial d'acier *Mushel*, un acier excessivement dur, qui sert, pour crochets de tours, dans les ateliers du chemin de fer de l'Ouest. Il était intéressant de rechercher si cette extrême dureté devait être attribuée au titane ou à un autre corps. On n'y a trouvé que des traces douteuses de titane et, par contre,

0,0798 de tungstène,  
0,0140 de carbone,  
0,0024 de silicium.

Divers essais directs m'ont d'ailleurs montré qu'il est difficile de combiner le titane au fer, et que, par réduction directe, on ne peut unir à la fonte que 0,001 à 0,002 de titane.

Pour ne rien omettre, rappelons encore une Note sur la *texture* du fer. (*Ann. des Mines*, 7<sup>e</sup> série, t. V, p. 108.)

## V. — *Métallurgie du plomb.*

Après le fer, c'est le plomb (les minerais et leur traitement) qui m'a surtout occupé. En 1840 (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XX, p. 553), j'ai spécialement examiné diverses séries de minerais recueillis, les uns dans les Alpes lombardes, aux environs de Schio; les autres près d'Aguilas et de Carthagène, en Espagne; d'autres, en France, dans les Cévennes.

En 1841 (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. I, p. 712), on compléta l'étude des riches minerais de plomb et d'argent exploités en Andalousie entre les caps de Palos et de Gate. Ils proviennent des sierras de Carthagène et d'Almagrera, et des environs de Velez-Rubio et de Mazarron.

En 1846 (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. XIV, p. 302), analyse d'une série très-complète de galènes originaires des vallées de Leutschen et de Bagnes dans le Valais (Suisse).

En 1868, publication d'un Mémoire étendu sur l'*Etat présent de la Métallurgie du plomb.* (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. XIII, p. 325.)

En comparant entre elles les quatre méthodes principales de traitement, l'auteur a montré :

1<sup>o</sup> Que le procédé du *bas foyer* doit faire place à la méthode par *grillage et réaction* dans de grands réverbères, et que cette dernière méthode elle-même n'est économique que lorsqu'on opère rapidement et lorsque la fin du traitement, le *ressuage*, se fait à part dans un four à cuve.

2<sup>o</sup> Que la méthode par *grillage et réduction*, dans les fours à cuve, ne convient qu'aux minerais quartzeux, et qu'il faut alors, contrairement à l'usage généralement suivi jusque-là, faire usage de fours *rétrécis* au niveau des tuyères et pourvus de parois en fonte convenablement refroidies à l'extérieur; que la cuve doit être circulaire et plutôt évasée vers le haut; qu'il convient enfin de marcher avec gueulard fermé, afin de mieux recueillir les vapeurs et les poussières entraînées;

3<sup>o</sup> Que le traitement par *précipitation* (par le fer) ne devrait être adopté

que là où le combustible manque pour le grillage, ou lorsque les minerais sont plus ou moins cuivreux.

La deuxième partie du Mémoire est consacrée à l'*affinage* du plomb, ou plutôt à sa *désargentation*. C'est une étude sur le pattinsonage ordinaire et mécanique, et surtout sur la désargentation au moyen du zinc et l'épuration du plomb zingué par la vapeur d'eau, selon le procédé imaginé par Cordurié. On constata, par des analyses chimiques, la pureté du plomb obtenu et la composition des produits oxydés. C'est à la suite de ce travail que le procédé fut adopté dans les usines royales du Hartz et de la Silésie.

Deux Notes, publiées en 1870, complètent ce travail sur la métallurgie du plomb. (*Ann. des Mines*, 6<sup>e</sup> série, t. XVI, p. 518 et 634.)

## VI. — *Métallurgie du cuivre.*

La métallurgie du cuivre a subi peu de modifications depuis vingt-cinq à trente ans. Elle est encore telle que l'a fait connaître M. Leplay. On peut dire seulement que l'affinage au réverbère tend à remplacer partout, sur le continent, l'ancien travail imparfait pratiqué au bas foyer ; mais si le four à réverbère favorise l'affinage, il convient peu pour la fusion des minerais sulfurés.

Dans une étude comparative des modes de traitement suivis en Angleterre et sur le continent, j'ai montré les avantages d'une méthode *mixte* où la fusion pour mattes serait pratiquée dans des fours à cuve, la fonte pour cuivre brut et l'affinage, dans des réverbères. (Feuilles autographiées, rédigées pour les élèves de l'École des Mines.)

Signalons, d'ailleurs, une étude chimique sur un riche minerai d'Isserpent (Allier), formé de sulfure et d'oxydure de cuivre, et diverses analyses des minerais de Mouzaïa. (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 720.)

Mentionnons aussi une série d'analyses de cuivres pyriteux et de cuivres gris, riches en argent, originaires du Valais (Suisse) (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. XIV, p. 305), et des essais et analyses des minerais de la Loire, de la Haute-Loire et de la Drôme. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XX, p. 556.)

Rappelons enfin l'étude critique d'un procédé de traitement, par grillage et voie humide, de cuivres pyriteux pauvres, essayé en Toscane par le professeur Bechi de Florence. (*Bulletin de l'Industrie minière*, t. III, p. 291.)

VII. — *Autres métaux et sujets divers.*

En 1846, Examen chimique de douze minerais de nickel et de cobalt, provenant du val d'Anniviers (Suisse).

Les minerais renferment tous un peu de cobalt, mais sont surtout riches en nickel. Les combinaisons sont très-variées; on trouve du bi-arséniure de nickel blanc argentin, du sesquiarséniure de cobalt et de nickel blanc éclatant, des arséniates rose et vert, du kupfernichel et du nickel gris arsénio-sulfuré, le tout dans une gangue de fer spathique manganésifère et de calcaire magnésien cristallisé. (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. XIV, p. 308.)

En 1836, Mémoire sur le traitement des minerais auro-argentifères de la basse Hongrie. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. IX, p. 17.)

En 1834, en commun avec MM. Foy et Harlé, Notice sur l'amalgamation des minerais aurifères par la méthode tyrolienne. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. VI, p. 105.)

En 1835, Note sur le sondage à la corde, exécuté à Roche-la-Mohère, près Saint-Étienne. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 317.)

En 1839, Expériences sur la lampe de sûreté du Mesnil. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XVI, p. 511.)

En 1859, Étude sur la question soulevée par l'administration des contributions directes : le lavage des minerais est-il sujet à patente? (*Bulletin de l'Industrie minérale*, t. IV, p. 784). La question fut plus tard tranchée, par le Conseil d'Etat, dans le sens des conclusions de la Note en question.

En 1873, Rapport sur les produits minéraux et métallurgiques réunis à l'Exposition de Vienne. Ce Rapport comprend spécialement une statistique des richesses minérales des divers pays, une étude sur la question de l'épuisement plus ou moins prochain des bassins houillers et une discussion sur ce qu'il faut entendre par acier et fer doux.

En 1851, Rapport sur l'emploi du sel en agriculture. (*Bulletin de la Société d'Agriculture de Poitiers.*)

## II. TRAVAUX GÉOLOGIQUES.

### I. — *Études géologiques générales.*

*Études sur la constitution géologique du département de la Loire.* — Mes premières études géologiques, dans le département de la Loire, furent publiées en 1841. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XIX, p. 53.)

On constata, dans ce premier travail, que le granite schisteux à mica blanc du Pilat, situé à la base du gneiss, doit être distingué du granite éruptif à mica noir, qui a traversé et disloqué le gneiss et le micaschiste.

Il fut établi aussi, dans ce Mémoire, que les terrains de transition de la Loire se composent de trois étages, et que deux porphyres firent leur apparition vers la fin de cette période : le porphyre *granitoïde*, très-peu quartzeux à l'origine et pendant le dépôt de l'étage le plus élevé du terrain de transition (le grès anthracifère du Roannais); le *porphyre quartzifère*, après le dépôt de ce dernier étage.

Dans ce premier Mémoire, trompé par la détermination de quelques rares fossiles, on crut pouvoir assimiler les deux étages supérieurs au terrain silurien, et l'étage inférieur, avec quelques doutes, au terrain cambrien.

L'erreur fut reconnue, grâce aux travaux de MM. de Verneuil et Jourdan, et rectifiée dans l'ouvrage, publié en 1857, sous le titre de *Description géologique de la Loire*.

Les conclusions générales de ce dernier travail sont résumées ainsi dans l'avant-propos, p. x :

1<sup>o</sup> Les granites éruptifs du plateau central appartiennent tous à une période *unique*, d'une certaine durée, malgré quelques différences de structure et de composition. Ces granites forment un ensemble de bandes parallèles, allongées du NNE au SSO, suivant le grand axe du plateau central, allant de Semur à Carcassonne.

2<sup>o</sup> Les pegmatites et les roches congénères sont postérieures au granite éruptif, mais antérieures à la période carbonifère; elles semblent dirigées de l'est à l'ouest.

3<sup>o</sup> Les dépôts paléozoïques du département de la Loire comprennent de haut en bas :

Le *terrain houiller* proprement dit;

Le *porphyre quartzifère*, orienté N. 15° O. ;

Le grès à *anthracite* ou *millstone-grit* ;

Le *porphyre granitoïde*, orienté E. 15° S. ;

Le *calcaire carbonifère* avec schistes et grès diversement nuancés.

4° Après le dépôt du terrain houiller, il a paru, dans certaines parties du plateau central (la Creuse, l'Aveyron, le Morvan, etc.), un troisième porphyre, l'*eurite quartzifère*, qui diffère du porphyre quartzifère par la rareté des cristaux feldspathiques. Son orientation est sensiblement N.-S.

5° A partir de l'origine de la période jurassique, le plateau central s'affaisse lentement jusqu'au dépôt de l'oolithe inférieure, puis se relève dès lors graduellement jusqu'à la fin de l'ère secondaire.

6° A dater de la période tertiaire, le plateau central s'abaisse de nouveau jusqu'à la fin de l'époque miocène, et se relève enfin d'une façon énergique à l'origine de l'époque pliocène.

Ajoutons que M. Élie de Beaumont a établi son *système du Forez* d'après nos observations sur les porphyres de la Loire (voir la *Notice sur les systèmes de montagnes*, t. I, p. 258).

Disons enfin que les granites et les porphyres ont provoqué, par leur arrivée au jour, la formation d'un ensemble de filons, dont l'étude m'a longtemps préoccupé. Les résultats de cette étude spéciale se trouvent consignés en partie dans l'Ouvrage déjà cité sur la Loire, mais surtout dans deux Mémoires qui ont paru dans les *Annales de la Société d'Agriculture et d'Histoire naturelle de Lyon* (années 1856 et 1857).

*Roches trappéennes des terrains houillers.* — L'étude des bassins houillers de la Creuse m'a conduit à celle des roches *trappéennes* qui sillonnent ces dépôts. Cette étude est spécialement consignée dans un Mémoire, lu à la Société géologique le 29 septembre 1865 (2<sup>e</sup> série, t. XXIII, p. 96.)

Elle montre que la période carbonifère est non-seulement marquée par l'apparition de trois roches éruptives *acides*, le porphyre granitoïde, le porphyre quartzifère et l'*eurite quartzifère*, mais encore par des roches de nature *basique*, analogues aux basaltes, appelées *trapps*, *toadstones*, *roche noire*, *dioritine*, *mélaphyre*, etc. Ces roches existent dans les bassins houillers de la Loire, de l'Allier, de Brassac, de la Creuse, etc.

Dans la Creuse, à Ahun en particulier, on peut constater que ces trapps ont surgi pendant la sédimentation même des grès houillers et qu'ils y ont formé de véritables coulées à la façon des basaltes.

On y voit des lamelles de pyroxène, et la roche ne contient, dans son

ensemble, que 55 à 60 pour 100 de silice, au lieu des 70 à 75 pour 100 que l'on rencontre dans les porphyres acides. Sur certains points la roche devient très-micacée; ailleurs, à la base surtout des coulées, le trapp passe à une roche blanche, tendre (*white rock*), qui ne diffère du trapp normal que par une proportion plus forte d'eau et d'acide carbonique.

*Gîtes ferrugineux.* — On a mentionné, dans les travaux chimiques, les descriptions d'un certain nombre de gîtes minéraux. Il suffira d'en rap-peler les titres :

Minerais de fer des environs de Privas et la Voulte;

Minerais de fer du canton de Saint-Ambroix;

Minerais de fer du massif des Maures. (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. VII, p. 347, et t. XIV, p. 270 et p. 285.)

*Roches phosphatées.* — Les roches *phosphatées* préoccupent à juste titre, depuis quelque temps, les agronomes et les géologues.

Le 10 juillet 1871, j'ai fait connaître à la Société géologique les dépôts phosphatés de la Perte du Rhône, près de Bellegarde (Ain).

La Note donne des détails sur le mode de gisement et la composition chimique des phosphates en question. (*Bulletin de la Société géologique*, 2<sup>e</sup> série, t. XXVIII, p. 62.)

*Terres végétales.* — Une autre question qui intéresse plus directement encore la géologie agricole est celle des *terres végétales*. La Société d'Agriculture de Lyon avait couronné un Mémoire de M. Sauvanau qui cherchait à établir, par l'analyse des terres végétales, que la *nature chimique des matériaux constitutifs des terres* n'avait aucune action sur la végétation.

Il est vrai que M. Sauvanau se bornait à rechercher la silice, l'alumine, la chaux et le fer, et déclarait, *a priori*, les autres substances de *simples curiosités minéralogiques*, dont il était inutile de se préoccuper ! Dans un Mémoire que je fis paraître à cette occasion, dans les *Annales de Lyon*, je montrai, par de nombreuses citations, que la nature chimique des terres végétales exerce, au contraire, la plus grande influence sur sa fertilité, et qu'il faut précisément tenir très-grand compte de ces minimes doses de magnésie, d'alcalis, de soufre, de phosphore, de silice soluble, etc., que M. Sauvanau traitait si légèrement de curiosités minéralogiques. (*Ann. de la Société d'Agriculture de Lyon*, année 1855.)

*Eaux minérales.* — A l'étude géologique d'une contrée se rattache celle des eaux minérales. Le volume consacré à la description géologique du département de la Loire s'en occupe surtout au point de vue chimique et géologique. La plupart de ces sources, au nombre de plus de douze, paraissent liées aux grands accidents NO-SE si fréquents dans le département de la Loire.

Plusieurs d'entre elles sont connues et exploitées depuis longtemps; ce sont : Saint-Galmier, Saint-Alban, Sail-sous-Couzan, Sail-les-Château-Morand, etc. Il en est d'autres, plus chargées d'éléments salins, qui ne sont pas utilisées : ce sont les sources de Moingt et de Montbrison. A la suite d'accidents fâcheux, provoqués par leur usage, j'en fis l'analyse en 1840. Je trouvai, dans la première, 3<sup>gr</sup>,57 de résidu salin par litre; dans la seconde, 3<sup>gr</sup>,06. Ces résidus renferment surtout des carbonates de soude, de magnésie et de chaux. (*Ann. des Mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XX; p. 565; et *Description géologique de la Loire*, p. 730.)

*Dieu et la Création révélés par la Géologie.* — Citons enfin une dernière étude, publiée en 1863 dans la Revue chrétienne : *Dieu et la Création révélés par la Géologie*. C'est une réponse à divers articles de MM. Renan et Ch. Vogt, dans lesquels ces savants déclarent « qu'il n'y a dans l'univers aucun être libre supérieur à l'homme; que la nature révèle un ordre fatal et non un plan tracé d'avance; qu'il n'y a, en réalité, ni création, ni Créateur ».

Nous avons tâché de montrer, par les résultats des études géologiques, que les propriétés spéciales de certaines substances, de certaines roches, que la succession des terrains et l'apparition graduelle des êtres vivants, dévoilent au contraire une intention évidente, un véritable plan et non une aveugle fatalité; par suite, l'existence d'un *Dieu créateur et conservateur de toutes choses*.

## II. — *Études sur les filons.*

*Classification des filons du plateau central.* — Le premier des Mémoires que je viens de citer a pour titre : *Essai d'une classification des principaux filons du plateau central de la France*. Il fut lu à la Société de Lyon le 23 novembre 1855. Les conclusions peuvent être résumées en ces termes :

1<sup>o</sup> Chaque roche éruptive est accompagnée d'une *auréole* de filons, selon

l'heureuse expression appliquée par de Buch aux mélaphyres des Alpes. Ces filons sont cependant moins un produit *immédiat* de roches éruptives qu'un dépôt *lent* des sources thermales, provoquées elles-mêmes par l'apparition de ces roches éruptives.

2° On peut distinguer, dans le plateau central, même en se bornant aux terrains antérieurs à la période jurassique, sept types de filons concrétionnés.

3° Le plus ancien se compose de nombreux amas et rognons quartzeux, développés dans le micaschiste sous l'influence du *granite éruptif*.

4° Le deuxième type est lié aux *pegmatites*. Ce sont des veines de quartz, les unes chargées d'étain, de wolfram, etc., les autres de tourmalines ou d'antimoine sulfuré.

5° Le troisième type se compose, dans le Forez, de veines quartzieuses minces et surtout d'une sorte d'imprégnation siliceuse qui se rattache au *porphyre granitoïde*.

6° Les éruptions du *porphyre quartzifère* et les mouvements du sol qui entr'ouvrirent, vers la même époque, la plupart de nos vallées houillères, ont engendré des amas calcédonieux et de nombreux filons de même nature.

7° Le cinquième type de filons a été formé, sous l'influence des *eurites quartzifères*, à l'origine de la période permienne. Ce sont des filons quartzeux nord-sud qui renferment de la galène riche en argent.

8° La fin de la période permienne est marquée par l'apparition des *porphyres noirs* de la Nahe et de la Sarre, auxquels paraissent dus les filons ferrugineux NNE-SSO des Vosges.

9° Enfin le dernier type comprend les nombreux filons quartzo-barytiques et plombeux, orientés NO-SE en Allemagne comme en France. Ils se rattachent au système du Morvan et livrent passage à d'abondantes sources minérales pendant tout le cours de la période du lias et une partie de celle de l'oolithe inférieure.

*Filons plombeux du département de la Loire.* — Le deuxième Mémoire, celui qui parut dans les *Annales de la Société de Lyon*, en 1857, est spécialement consacré à ce dernier type de filons, et plus particulièrement aux deux groupes qui furent activement exploités, il y a cent ans, au pied oriental du Pilat, non loin du Rhône, et aux environs de Saint-Just et de Roanne, dans le Forez. Ce sont des filons quartzo-barytiques, contenant de la galène et de la blende pauvres en argent. Ce Mémoire

et la *Description géologique de la Loire* renferment, sur le passé de ces mines, de nombreux documents qui pourront être utilement consultés par ceux qui voudront les reprendre.

Aux filons dont il vient d'être question se lie naturellement une étude sur l'origine et le mode de formation des minerais de manganèse dans les Pyrénées et aux environs de Nontron (Dordogne). (*Ann. des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. XVIII, p. 61.) On montre que les minerais de manganèse, comme les minerais de fer en grains, doivent surtout leur origine à des sources bicarbonatées.

### III. — *Études sur les bassins houillers.*

#### 1<sup>o</sup> *Bassin houiller de la Loire.*

Le bassin houiller de la Loire, sur lequel j'ai résidé pendant vingt ans, m'a surtout préoccupé. Il était nécessaire, dans l'intérêt des travaux de mines, de fixer les rapports de superposition et la situation relative des couches du bassin. Une carte avec coupes et texte parut en 1847. Je pus établir, dès cette époque, que le terrain houiller de la Loire était formé de quatre faisceaux ou séries de couches. Le plus ancien affleure à Rive-de-Gier et doit passer sous la ville de Saint-Étienne à une profondeur d'au moins 1500 mètres. Entre ce faisceau et les premières couches de Saint-Étienne s'étend un étage stérile de 500 à 600 mètres.

A Saint-Étienne même, on exploite les trois faisceaux supérieurs; leur étendue horizontale diminue de bas en haut. L'inférieur comprend 10000 hectares, le faisceau moyen 4700, la série supérieure à peine 1300. Sans entrer ici dans le détail des quatre groupes, disons seulement que le nombre total des couches de houille, de plus de 1 mètre d'épaisseur, est de 28 à 30 mètres, et leur puissance totale utile de 45 à 50 mètres. A la description du dépôt houiller fait suite une étude sur les failles et les accidents qui affectent le terrain. On distingue surtout les failles *transversales* et *longitudinales*, et l'on fait ressortir combien elles diffèrent les unes des autres par leur nature et leurs caractères.

Depuis 1847, les travaux de mines se sont considérablement développés dans le bassin de la Loire; la classification établie a été confirmée par les découvertes nouvelles. Il a fallu seulement, à cause de ces découvertes mêmes, réviser le parallélisme des diverses couches et fixer d'une façon plus précise leurs rapports respectifs. C'est le but d'une Notice nouvelle

sur le bassin houiller de la Loire, qui parut en 1866 dans le *Bulletin de l'Industrie minière*, t. XI, p. 667.

Ajoutons qu'un travail plus complet sur le bassin de la Loire, formé de plans à l'échelle de  $\frac{1}{5000}$ , avec courbes de niveau souterraines et coupes verticales nombreuses, est réuni, depuis plusieurs années, dans un atlas manuscrit de 25 à 30 grandes planches, dont copie est déposée, à l'usage des ingénieurs, dans le Bureau du service des mines de la Loire.

## 2° Bassins houillers de la Creuse.

Pendant mon séjour, comme Ingénieur en chef, à Poitiers, je me suis occupé de l'étude des dépôts houillers du département de la Creuse. Le travail fut publié en 1868. Il se compose d'un atlas et d'un volume de texte in-quarto de 200 pages.

L'atlas original, composé de 10 feuilles, format grand-aigle, est déposé au bureau des mines de Guéret.

Le texte comprend la description géologique générale du département de la Creuse. On fait ressortir spécialement l'influence de la pegmatite sur les roches encaissantes, et le rôle important des roches porphyriques. On retrouve dans la Creuse, comme dans la Loire, outre le terrain houiller proprement dit, les trois porphyres ci-dessus mentionnés, et les deux étages du calcaire carbonifère.

Quant au terrain houiller proprement dit, il résulte des plantes fossiles qu'il appartient à la partie la plus récente de l'ère carbonifère.

On établit, par des exemples frappants, que la houille grasse d'une couche donnée peut changer de nature et devenir authraciteuse, dans son prolongement en direction et en profondeur, sans cause extérieure bien apparente.

Le travail se termine par un inventaire des richesses probables des dépôts houillers de la Creuse.



# INDEX.

	Pages.
Résumé général des études et des publications.....	5

## I. — TRAVAUX CHIMIQUES ET MÉTALLURGIQUES.

I. — <i>Combustibles</i> .....	7
Caractères et classification des houilles.....	7
Emploi des combustibles.....	8
Préparation des combustibles.....	8
Carbonisation des combustibles.....	8
Chaleur possédée par les produits métallurgiques, et effet utile des fourneaux.....	9
II. — <i>Agents métallurgiques divers</i> .....	10
III. — <i>Appareils métallurgiques</i> .....	10
Dimensions des fourneaux.....	10
Forme des fours à cuve.....	10
Appareils à air chaud.....	11
Appareils de chargement.....	11
IV. — <i>Métallurgie du fer</i> .....	11
1° Minerais de fer.....	11
2° Préparation des minerais de fer.....	13
3° Réduction et fusion des minerais de fer.....	13
Dédoublément de l'oxyde de carbone.....	13
Études sur les hauts-fourneaux.....	14
Notice sur le carbone <i>stoconneux</i> , provenant de l'oxyde de carbone dédoublé.....	15
4° Affinage de la fonte pour fer et acier.....	15
Puddlage pour acier.....	15
Affinage Bessemer.....	16
Nature de l'acier.....	16
Aciers phosphorés.....	17
Traitement direct des minerais pour fer et acier.....	18
Aciers au tungstène.....	18
V. — <i>Métallurgie du plomb</i> .....	19
VI. — <i>Métallurgie du cuivre</i> .....	20
VII. — <i>Autres métaux et sujets divers</i> .....	21

## II. — TRAVAUX GÉOLOGIQUES.

	Pages.
I. — <i>Études géologiques générales</i> .....	22
Études sur la constitution géologique générale du département de la Loire. (Terrains anciens, carbonifères et porphyriques.) .....	22
Roches trappéennes des terrains houillers.....	23
Gîtes ferrugineux.....	24
Terres végétales.....	24
Eaux minérales.....	25
Dieu et la création révélés par la Géologie.....	25
II. — <i>Études sur les filons</i> ... ..	25
Classification des filons du plateau central.....	25
Filons plombeux du département de la Loire.....	26
III. — <i>Études sur les bassins houillers</i> .....	27
1° Bassin houiller de la Loire.....	27
2° Bassins houillers de la Creuse.....	28