http://cnum.cnam.fr
Conservatoire numérique des Arts & Métiers

Titre général : Exposition universelle. Paris. 1867. Rapports du jury international.
Titre du volume : Tome 5. Groupe V, classe 40.

Mots-clés : Exposition universelle (1867 ; Paris) ; Industrie ; Produits industriels

Description : [4]-718 p. ; 8°
Adresse : Paris : Imprimerie administrative de Paul Dupont, 1868
Cote de l'exemplaire : CNAM 8° Xae 149-5 (Bibliothèque du CNAM)

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE149.5

La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*. You may assemble and distribute links that point to other *CNUM* documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from *CNUM*.

PDF créé le 5/2/2008

RAPPORTS

DU

JURY INTERNATIONAL

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

8° xae 14-9.5

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

A PARIS

RAPPORTS

DU

JURY INTERNATIONAL

PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE

M. MICHEL CHEVALIER

Membre de la Commission Impériale

TOME CINQUIÈME

GROUPE V. — CLASSE 40.





PARIS

IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE DE PAUL DUPONT

45, RUE DE GRENELLE-SAINT-HONORÉ, 45

1868

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE V

PRODUITS BRUTS ET OUVRÉS DES INDUSTRIES EXTRACTIVES

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 40

PRODUITS DE L'EXPLOITATION DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

SOMMAIRE :

Section I. — Substances minérales, par M. Daubrée, membre de l'Institut, inspecteur général des mines, professeur à l'École des Mines et au Muséum d'histoire naturelle, membre du Jury international de 1862.

Section II. — Combustibles artificiels, par M. Fuchs, ingénieur des mines.

Section III. — Fer et acier, par M. Goldenberg, fabricant, membre des Jurys internationaux de 1851, 1855 et 1862.

Section IV. — Acier, par M. Frémy, membre de l'Institut, professeur à l'École Polytechnique et au Muséum d'histoire naturelle, membre des Jurys internationaux de 1855 et 1862.

Section V. — Fontes et fers, par M. Fuchs et M. Worms de Romilly, ingénieur des mines.

Section VI. — Fers et aciers ouvrés, par M. Martelet, ingénieur des mines.

Section VII. — Cuivre, par le même.

Section VIII. — Plomb, par M. Rivot, ingénieur en chef des mines, professeur et directeur des laboratoires et du bureau des essais à l'École des Mines, membre du Jury de 1855.

Section IX. — Zinc, par M. Fuchs.

Section X. — Platine, oxygène, silicium, etc., par M. Henri Sainte-Claire Deville, membre de l'Institut, maître de conférences à l'École Normale, professeur à la Faculté des sciences de Paris, membre des Jurys Internationaux de 1855 et 1862.

Section XI. — Métaux rares (aluminium, magnésium, sodium), par le même.

Section XII. — Métaux divers (étain, nickel, mercure, etc.), par M. Petitgand, ingénieur civil.

Section XIII. — Observations générales sur l'industrie des mines, par le même.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 40

PRODUITS DE L'EXPLOITATION DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

SECTION I

SUBSTANCES MINÉRALES

PAR M. DAUBRÉE.

CHAPITRE I.

INTRODUCTION GÉNÉRALE.

Lorsqu'on jette un coup d'œil sur les divers produits de l'art et de l'industrie, qui occupent à l'Exposition une si brillante et si large place, par une tendance naturelle de l'esprit, on ne songe guère à ces humbles matériaux qui ont servi à les produire, et qui se sont comme effacés devant eux. Quand on admire les machines à vapeur, à la fois si puissantes et si soumises, on oublie bien facilement le bloc de houille et le monceau de minerai, qui leur ont donné naissance.

C'est seulement lorsque le génie de l'homme a élaboré et transformé la matière brute, que la substance première est arrivée, en quelque sorte, à une nouvelle phase, qu'elle devient apte à revêtir des formes propres à nous émouvoir diversement.

Les substances mères, qui donnent l'existence à ces mille

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

objets, outils, appareils, sont devenues une condition indispensable de la vie de nos sociétés. A raison de l'extrême variété de leurs emplois et du rôle capital que plusieurs d'entre elles jouent dans l'économie sociale, les substances minérales exigent, chaque jour, dans les diverses régions du globe, un plus grand développement de forces et d'activité, pour les arracher aux profondeurs qui les recèlent.

Les combustibles minéraux, la houille, et même le lignite, sources de chaleur et de force, ont été, de toutes parts, l'objet d'explorations très-étendues, soit dans la profondeur, soit dans les diverses régions du globe. Pour les pays qui en sont abondamment pourvus, ces combustibles forment, en effet, un gage de prospérité et de puissance dans le présent et dans l'avenir. L'abondance avec laquelle le pétrole a surgi, d'une manière si inattendue, du sol de l'Amérique du Nord, lui a créé un emploi qui l'a fait rechercher de toutes parts et qui a porté l'attention sur les gîtes de la même substance, que renferment d'autres contrées. Tandis que certaines exploitations de minerais métalliques, se sont considérablement développées, d'autres, déjà très-importantes, ont récemment pris naissance. Le fer, le zinc, l'or et surtout l'argent, vont nous offrir des exemples remarquables de ces progrès. Certaines matières dites pierreuses, qui ne servent pas à l'extraction des métaux, et notamment la pyrite de fer, les sels de potasse, la chaux phosphatée, nous montreront également quels services peuvent rendre ces corps, en apparence si insignifiants, dès qu'ils sont reconnus et appréciés.

Il peut paraître, au premier abord, que l'esprit humain, dans la découverte des matières minérales, joue un rôle moins élevé que celui qu'il sait prendre, lorsqu'il s'agit de les mettre en œuvre ; car aucun travail de spéculation ne saurait faire produire au sol ce qu'il ne contient pas. Cependant, l'initiative personnelle et l'esprit d'observation sont souvent très-utiles, quelquefois indispensables pour développer, comme on l'a fait dans ces derniers temps, cette source de richesse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Si le hasard a souvent contribué à la découverte de minerais utiles, il est incontestable que certaines données théoriques sont de première valeur pour les reconnaitre, et elles sont bien plus nécessaires encore, lorsqu'il s'agit d'en poursuivre avantageusement l'exploitation.

Après avoir été conjecturales dans les siècles antérieurs, ces données théoriques se sont constituées en un corps de doctrine, et l'étude de la terre est devenue une véritable science, celle qu'on nomme Géologie. Depuis qu'elle est devenue positive, non-seulement la géologie éclaire d'une vive lumière les faits fondamentaux de l'histoire du globe terrestre; mais, alliée à la minéralogie et à la chimie, qui servent à discerner les corps bruts susceptibles d'être mis à profit, elle rend de plus en plus de services dans la découverte et l'extraction des substances minérales, en apprenant à les poursuivre à travers toutes les particularités de leurs gisements.

Cette utilité est attestée par les progrès de chaque jour. Qu'il s'agisse de la recherche ou de l'exploitation de combustibles et de minerais métalliques, du régime souterrain des eaux ou même de la culture du sol, la géologie intervient, en coordonnant les données d'observation, auxquelles elle sert de guide. C'est ainsi que, depuis que l'utilité des phosphates minéraux est reconnue, on peut les trouver, pour ainsi dire, à priori, à certains niveaux bien déterminés de la série des terrains stratifiés.

Sans aller sur le terrain, sans même sortir de l'examen des produits de l'Exposition, on reconnaît partout cette utile intervention des vues théoriques dans l'application, en ce qui concerne la richesse minérale.

Aux États-Unis, des régions à peine conquises par la civilisation et souvent encore inhabitées, sont explorées dans leur constitution minérale, et représentées par des descriptions géologiques ; c'est ce que nous voyons, notamment pour les contrées situées à l'ouest des Montagnes-Rocheuses, y compris la Californie. Dans les colonies anglaises, la même im-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

portance fondamentale est attribuée à la géologie. Les cartes géologiques de la province de Victoria, celles de l'Inde anglaise, exécutées avec soin et sur une grande échelle, attestent hautement l'utilité de son rôle. Une autre vaste colonie australienne de l'Angleterre, la Nouvelle Galles du Sud, a également un explorateur géologique spécial, auquel est dû, en grande partie, le haut intérêt de l'exposition des roches utiles qu'on y rencontre.

Ces observations nous montrent la voie qu'il convient de suivre, lorsqu'il s'agit d'utiliser les ressources d'un pays et de rechercher les gisements de minéraux qu'il contient, que la civilisation l'occupe depuis des siècles, ou qu'elle s'y soit implantée seulement depuis quelques années.

Une série d'autres documents qui figurent à l'Exposition, les cartes topographiques de certains gîtes, ainsi que les collections, bien méthodiquement classées, qui s'y rapportent, attestent également l'importance que l'industrie attribue partout aux faits théoriques, observés avec précision.

On voit pourquoi des considérations géologiques doivent intervenir nécessairement dans l'exposé qui suit. Ce sont elles qui font ressortir les rapports des faits entre eux, et les empêchent de rester stériles, en demeurant isolés. Il n'est guère douteux, en effet, que nous ne foulions aux pieds beaucoup d'utiles matériaux, dont la valeur est encore méconnue. De cette coordination des caractères de gisement découlent des conclusions pratiques et, comme des règles, pour guider dans les découvertes ultérieures, même pour les contrées éloignées. Cette dernière observation justifie peut-être l'étendue donnée à ce rapport. Non-seulement, il comprend les substances exploitées en très-grand nombre, que fournit le règne minéral; mais la conclusion utile à tirer de certaines découvertes ne pourrait être déduite, si ces découvertes elles-mêmes avaient été mentionnées d'une manière trop vague et trop générale. Toutefois, il est impossible de donner une description, même succincte, des principaux objets présentés et d'en nommer les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exposants, pour rendre hommage à tant d'efforts. Nous avons dû nous borner à mentionner ce qui constitue des faits nouveaux, présentant dès aujourd'hui de l'intérêt, ou pouvant acquérir de l'importance dans l'avenir.

Les diverses substances minérales brutes, que l'on extrait des mines, minières et carrières, qui forment l'objet de ce rapport, seront groupées comme il suit :

I. Combustibles. — II. Bitumes. — III. Minerais de fer. — IV. Minerais des métaux autres que le fer. — V. Minéraux servant aux industries chimiques. — VI. Minéraux d'ornement. — VII. Minéraux divers complétant la série des minéraux utiles. — VIII. Collections de roches, minéraux et minerais (1).

§ 1. — Aperçu historique.

L'histoire du travail offre un assez haut intérêt, même au point de vue purement technique, pour qu'on ait eu l'heureuse idée de le représenter à l'Exposition de 1867. Aussi semble-t-il que ce soit se conformer à l'esprit qui a présidé à cette manifestation que de faire une excursion préalable dans le domaine des anciens.

Dans la galerie consacrée à cette histoire, l'Espagne et la Gaule nous offrent surtout de précieux documents. On voit, par exemple, d'intéressants instruments des antiques exploitations de l'Espagne et du Portugal, qui, d'après ce que nous apprend Strabon, fournissaient aux Romains des quantités considérables de métaux de toute espèce : l'or, l'argent, le plomb, le cuivre, l'étain et le fer. Ce sont des paniers en sparte, goudronnés et fixés dans une monture en bois, qui leur servaient dans les mines, à l'extraction des eaux, au lieu de seaux, comme on en emploie aujourd'hui. Le plus grand des trois qui

(1) L'auteur de ce rapport croit devoir prévenir que quelques-uns des nombreux chiffres statistiques sont donnés tels qu'ils lui ont été fournis, sans qu'il ait eu le temps ou la possibilité de les vérifier.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sont exposés est de la contenance de 150 litres. Parmi les autres objets, également trouvés dans les mines, nous mentionnerons des haches en bronze et un marteau en pierre, provenant d'une ancienne mine de cuivre des Asturies; des coins en fer, tenailles, lampes de mineur en terre cuite, vases en verre, une amphore encore pleine de minerai réduit en poussière, et une chaudière en plomb.

De nombreuses antiquités romaines ont été trouvées également en Portugal, dans la mine de San-Domingos, que les Romains exploitaient pour le cuivre, et qui est devenue l'une des plus importantes mines de pyrite. Ils y avaient établi quatorze roues hydrauliques à couronne, chacune de 6 mètres de diamètre, qui servaient à élever l'eau à des niveaux successifs; l'une d'elles figure au Conservatoire des Arts et Métiers de Paris. La série des vues photographiques de la Sierra de Carthagène montre d'ailleurs des excavations encore parfaitement conservées, et provenant d'exploitations à ciel ouvert, qui remontent à l'époque romaine.

Il est encore bien d'autres indices des procédés qui servaient, dans l'antiquité, à l'art du mineur. Ainsi, l'or disséminé en petite quantité dans les quartzites siluriens, sur la limite des Asturies et de la province de Léon, sur plus de 60 kilomètres de distance, était exploité par les Romains. On peut encore voir, à Las-Babias, d'après M. Amalio Maestre, inspecteur général des mines, des points où ils attaquaient la roche, d'abord en la chauffant, puis en y versant de l'eau pour l'étonner. Il existe aussi des vestiges de canaux qui apportaient, de plusieurs kilomètres, l'eau nécessaire à ces travaux; on trouve d'immenses excavations, des dépôts formés de débris des roches aurifères, et même des lavoirs. En différents lieux, on a rencontré des meules à bras en porphyre, qui paraissent avoir servi au broyage du minerai.

Enfin, une plaque épaisse de litharge, provenant de la province de Barcelone, confirme ce fait, que les Romains traitaient le plomb argentifère par la coupellation, pour en extraire l'ar-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gent. Des faits nombreux, que je dois à l'obligeante communication de M. Maestre, le prouvent plus positivement encore. Tels sont des saumons de plomb des environs de Carthagène, dont a été extrait l'argent, et des gâteaux d'argent, provenant de ce plomb (1).

D'autres documents, relatifs à l'Exposition, confirmeraient aussi ce que nous dit Strabon sur les exploitations de mines en Italie, en Macédoine et en Grèce.

Sans être aussi célèbres que l'Espagne, et sans posséder d'aussi nombreux vestiges des exploitations antiques, les Gaules avaient aussi de nombreuses exploitations métalliques. C'est à ce dernier pays que nous limiterons cet aperçu, en coordonnant et en résumant quelques-uns des documents que nous avons pu recueillir.

Les auteurs anciens ont souvent parlé de l'or et de la *Gallia aurifera*. On n'ignore pas, en effet, qu'ils extrayaient l'or de diverses rivières, telles que l'Ariége (*Aurigera*), qui doit son nom à l'orpaillage dont elle était l'objet, dès une époque reculée. Mais ce que l'on sait moins généralement, c'est que notre pays fournissait des métaux sur de nombreux points qui, pour la plupart, ne sont aujourd'hui l'objet d'aucune exploitation.

Les principaux métaux exploités sans nul doute dans les Gaules, dès l'époque romaine, ou peut-être antérieurement, sont, à part l'or : l'argent et le plomb, le cuivre, l'étain et le fer.

Galène argentifère. — On sait que les mines d'argent proprements dites sont rares sur le territoire des Gaules, qui n'en renferme guère qu'à Huelgoat (Finistère), Allemont (Isère), Sainte-Marie-aux-Mines (Haut-Rhin) (2). En général, c'est dans

(1) Au cap de Gate, près d'Almeria, M. Maestre a découvert 52 fourneaux. Dans cette même province, on trouve, en outre, des scories qui renferment 10 à 12 pour 100 de plomb.

(2) On pourrait aussi citer Curcy, dans le Calvados, et quelques localités peu importantes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le sulfure de plomb, connu sous le nom de galène, que l'argent se rencontre, bien qu'en faible proportion (quelques millièmes).

Malgré les difficultés que présente l'extraction de l'argent, nos pères étaient parvenus à résoudre ce problème, peut-être bien avant l'occupation romaine. Tacite, en effet, signale les mines des Ruthènes comme très-productives. Or, on sait qu'elles ne renferment que de la galène argentifère. Les anciens ont surtout exploité dans le pays des Ruthènes, plus tard le Rouergue, comprenant aujourd'hui une partie du département de l'Aveyron, les groupes des environs de Villefranche, particulièrement le filon de la Maladrerie, ainsi que ceux des environs de Milhau. Dans ces diverses localités, on a trouvé des fragments de poteries romaines. Citons aussi les mines romaines de l'Argentière (Ardèche).

La mine de Macôt en Savoie, a donné lieu, à l'époque romaine, à des travaux très-vastes qui ont été retrouvés en 1828. On n'a l'explication probable de travaux singuliers, qui ont traversé perpendiculairement le filon sans l'exploiter, que depuis 1861, époque où l'on a rencontré, à 400 mètres au sud-est du filon principal, un autre filon, de 2 mètres de puissance seulement, mais beaucoup plus riche en plomb, et de plus, riche en cuivre gris, ce qui fait présumer une grande teneur en argent. Il est probable que les travaux des Romains qui se dirigeaient vers ce filon, avaient pour but de l'exploiter.

Bien d'autres gîtes de galène argentifère étaient exploités dans la Gaule. Il paraît en avoir été ainsi, par exemple, à Vialas (Lozère), aux environs de Bességes (Gard), et peut-être, dans certaines mines, dont l'origine remonte à une époque immémoriale, comme à Huez (Isère), à l'Argentière (Hautes-Alpes), aux environs de Saint-Girons (Ariége), à Melle (Deux-Sèvres), à Confolens (Charente), à Pontgibaud (Puy-de-Dôme) et à Saint-Avold (Moselle).

Cuivre.—Les localités qui fournissent le cuivre sont beau-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

coup moins nombreuses que celles d'où l'on tire le plomb. Cependant, dans la Gaule même, le cuivre fut exploité à une époque très-reculée, bien qu'il le soit bien peu aujourd'hui. Des signes indubitables d'exploitation romaine, et peut-être antérieure, se voient à Rozières, près Carmeaux (Tarn). Il en est de même aux mines de cuivre de Baigorry (Basses-Pyrénées), où l'on a recueilli des médailles d'Octave, d'Antoine et de Lépide. A Saint-Gaudens (Haute-Garonne), au Coffre (Ariége), à Chessy (Rhône), on a signalé des vestiges d'exploitations romaines. A Cabrières, département de l'Hérault, on a rencontré dans les mines de cuivre que l'on a explorées il y a quelques années, un grand nombre de galeries ouvertes en entier au pic, une agrafe antique et des débris de poterie romaine, sur l'une desquelles on lisait le nom du fabricant Julius.

A Vaudrevange, près Sarrelouis, sur les confins du département de la Moselle et sur le territoire prussien, à l'entrée d'une galerie percée dans le grès bigarré, en un point où cette roche est parsemée de petits grains de cuivre carbonaté vert et bleu, on lit, gravée dans le roc, une inscription romaine (1). Le minerai que fournit cette mine est si pauvre, qu'on ne saurait le traiter par voie sèche, et qu'il faut, au préalable, soumettre la roche à l'action de l'acide chlorhydrique. Aussi, il y a lieu de supposer que le minerai dont il est question était exploité, non pas pour l'extraction du métal, mais comme matière colorante, à cause de sa couleur bleue; on sait, en effet, que c'était une mine d'azur dans le moyen âge.

Étain. — L'étain dont il n'existe, en France, aucune mine régulière en activité, y était exploité, de même que le cuivre, dans le plateau central et probablement dans la Bretagne.

(1) Cette inscription est restée inachevée :

INCEPTA OFFI
CINA EMILIANA
NONIS MART

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aux environs de Vaulry (Haute-Vienne), où le minerai d'étain a été découvert, en 1812, disséminé dans de puissants filons quartzeux, il existe de vastes excavations, certainement ouvertes dans un but d'extraction minérale. En outre, à proximité de certaines d'entre elles, on remarque des scories provenant du traitement du minerai d'étain, et renfermant une quantité notable de ce métal.

D'autres régions du plateau central présentent, dans les mêmes conditions de gisement, des excavations semblables à celles de Vaulry. C'est ainsi que M. Mallard, ingénieur des mines, a pu les étudier près de Millemilange, Forgeas, Antraigues, la Chaise et Montebras. Dans cette dernière localité, située dans la commune de Soumans, sur les confins de la Haute-Vienne et de la Creuse, les excavations consistaient en trous de forme conique, profonds de 8 à 10 mètres en moyenne, avec une largeur de 30 à 40 mètres à l'orifice. Ces trous sont au nombre d'une trentaine environ. L'analogie que ces fouilles présentent, avec celle de Vaulry, fit penser à M. Mallard, dès 1859, qu'elles avaient pu servir à l'exploitation d'un filon stannifère. Il examina les roches du déblai et trouva, en effet, parmi celles-ci, des échantillons volumineux d'étain oxydé. On commença alors des recherches qui se poursuivent actuellement d'une manière très-active. Ces gîtes d'étain nous seraient peut-être inconnus, sans les travaux de nos pères, les Gaulois.

On a encore trouvé d'anciennes exploitations d'étain sur un puissant filon quartzeux, dans le département de la Creuse, aux environs de Bénévent, Mourioux et Ceyroux, et dans le département de la Haute-Vienne, non loin de Saint-Yrieix. Dans ces deux départements, l'étain n'existe pas seulement dans la roche, mais aussi à l'état d'alluvions, comme on le remarque, par exemple, à Cieux ; et ceux qui ne craignaient pas d'aller extraire l'étain, au milieu d'une gangue aussi difficile à attaquer que le quartz, ne devaient pas négliger de l'isoler des sables, par un simple lavage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Du reste, la recherche de l'étain n'était peut-être pas le seul but de ces intrépides mineurs. Les indices d'or que l'on a trouvés dans les filons stannifères de Vaulry et de Cieux, la présence de ce précieux métal, dans les alluvions de presque toutes les vallées qui descendent de la chaîne de Blond, doivent faire supposer que ce métal fixait aussi leur attention. Ce qui confirme dans cette supposition, c'est que, dans cette partie du Limousin, ces excavations sont désignées sous le nom d'*aurières*, et qu'on retrouve une étymologie semblable à un grand nombre de localités avoisinantes.

Quant à l'époque de tous ces travaux, elle est certainement fort ancienne; tout porte à reculer sa date à l'époque gallo-romaine ou plutôt à l'époque gauloise.

Fer. — Longtemps avant le commencement de l'ère chrétienne, la fabrication du fer, dans la Gaule, avait acquis une grande importance, et même, à ce qu'on croit, un haut degré de perfection. On connaît, en effet, par le témoignage de César, que les *Magnæ ferrariæ* de la Gaule fournissaient du fer en assez grande quantité pour que les Venètes, habitants les côtes de l'Océan, pussent en forger les chaînes des ancres de leurs vaisseaux, qui résistaient victorieusement aux tempêtes, tandis que les câbles de chanvre, qui servaient à retenir les vaisseaux romains, se brisaient fréquemment pendant les tourmentes.

On peut, il est vrai, objecter que les relations commerciales pouvaient apporter, au port de Vannes, les chevilles et les chaînes de fer dont parle César; mais les faits qu'il cite pour Bourges sont plus concluants : au siége d'Avaricum (Bourges), les Romains élevaient des terrassements pour attaquer la ville; mais les assiégés minaient ces ouvrages en arrivant par des galeries souterraines, qu'ils établissaient d'autant plus facilement qu'ils avaient l'habitude de ce genre de travail, par l'exploitation des mines de fer. Ce témoignage montre que, dès cette époque, non-seulement les mines de fer étaient

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exploitées, mais qu'elles l'étaient par travaux souterrains.

Parmi les monceaux considérables de scories, que l'on trouve dans une foule de régions de la France, il en est qui remontent non-seulement au moyen âge, mais à l'époque romaine, et peut-être même bien au delà. On a, en effet, trouvé dans ces *ferriers*, des monnaies et des tuiles à rebord, dont la date n'est pas douteuse et qu'on doit rapporter aux Romains. Ailleurs, M. Bouillet, de Clermont, a signalé des bracelets et des médailles de l'époque romaine, dans des ferriers maintenant recouverts de végétation. Enfin, quelquefois l'âge reculé des scories est également prouvé par ce fait que les voies romaines en étaient empierrées : par exemple, dans le département de la Mayenne, entre Ballé et Épineux et ailleurs, d'après M. de Caumont.

Il existe de nombreuses traces de l'industrie du fer dans la partie du Senonais, désignée sous le nom de forêt d'Othe et dans celle du Gatinais qui avoisine la Puysaye. Ces pays, compris dans les départements actuels de l'Yonne et de l'Aube, sont constitués par la craie, que recouvre un dépôt superficiel tertiaire. Ces *ferriers*, en forme de cônes atteignant parfois 10 à 12 mètres de hauteur, se trouvent dans deux conditions bien distinctes : d'abord dans les forêts des hauts plateaux, où leur richesse en fer est considérable et, en outre, dans les vallées, au voisinage des cours d'eau, où ils sont plus pauvres et se rapprochent davantage des laitiers proprement dits. Les premiers correspondent peut-être à une industrie dans l'enfance, tandis que les autres sont le résultat d'opérations perfectionnées (1).

A l'aspect de ces quantités si considérables de scories, on se demande quelle longue suite d'années il a fallu, pour les produire, à des hommes qui n'avaient d'autre force que celle de leurs bras, qui ne forgeaient le fer que pour en fabriquer

(1) Les ferriers de cette partie de la France ont été étudiés par M. Cartois; le résultat de ces recherches est consigné dans la *Statistique de l'Aube* de M. Raulin, p. 179.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des épées, des haches d'armes, et quelquefois des chaînes de navire.

Outre les ferriers de l'Yonne et de l'Aube, nous citerons ici ceux de la Côte-d'Or, aux environs des mines de Thoste et de Beauregard, qui sont encore exploitées aujourd'hui; ceux de l'Aveyron, aux environs de Kaimar, près Lunel; ceux d'Indre-et-Loire où, sur plusieurs points, il existe de ces scories anciennes en quantités vraiment surprenantes; ceux de la Vienne, particulièrement aux environs de Charroux; ceux de la Nièvre, près Clamecy; ceux de la Sarthe, aux environs du Mans, où on a découvert des médailles romaines, notamment à Allones; ceux de la Seine-Inférieure, près de Forges; ceux de l'Eure, près Bernay, où ces débris ont été examinés par M. Le Prévost; ceux de l'Orne, aux environs de l'Aigle et de Rugles; ceux de la Mayenne, où ces scories ont servi à l'empierrement de voies romaines sur différents points; ceux de la Haute-Marne, à Ronchaires, où des médailles du Haut-Empire ont été trouvées dans le fond d'un puits traversant les mines, ainsi que dans la Meuse, à Treveray. Il existe, dans beaucoup d'autres parties de la France, des accumulations de scories qui remontent à une époque très-ancienne et peut-être aussi jusqu'à l'époque romaine; nous citerons, par exemple, la Meurthe; l'Isère; le Gard, à Palmesalade; les Pyrénées-Orientales, au Canigou; l'Ariége, à Vicdessos; enfin la Dordogne. Ces derniers, qui proviennent de forges à bras, ont été attribués, par M. Félix de Verneilhe, à l'époque gauloise.

D'après M. Charles des Moulins, le Périgord est véritablement semé de débris de scories. Il en a trouvé au moins une vingtaine de dépôts aux environs de Lanquais, sur le terrain tertiaire. Le silicate de fer, qui forme les scories, renferme 60 pour 100 de métal. L'un de ces dépôts, remarquable par son volume, est situé au sommet du coteau de Saint-Frond de Coulvey, et occupe au moins 400 mètres carrés; l'antiquité de ce massif est présumée, d'après la transformation de sa

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

partie superficielle, en terre végétale (1). A Excideuil, suivant M. Guillebot de Nerville, on trouve sept ou huit monceaux principaux de scories ou *crassiers*, provenant d'anciennes forges à bras. A Hautefort, il y en a cinq ou six au moins. Des tas semblables se rencontrent dans le voisinage des minerais de Bergerac. Enfin, il en existe auprès de la limite de la Haute-Vienne, sur la commune de Saint-Martin de Fressengeac, qui proviennent probablement des minerais du Nontronais.

On peut mentionner aussi les accumulations de scories qui se rencontrent, en une multitude de points, dans cette province de la Belgique, nommée Entre-Sambre-et-Meuse; en quelques localités, elles forment une couche nivelée qui n'a pas moins de $1^{m}50$ d'épaisseur.

§ 2. — Observations générales.

D'après les faits qui viennent d'être signalés, nous devons, avant tout, admirer la perspicacité et la finesse d'observation des anciens, en même temps que les connaissances pratiques auxquelles ils étaient déjà arrivés. Ce n'est pas seulement l'or qu'ils savaient reconnaître, même en particules à peine visibles, ni même le minerai de fer, mais des minerais, tels que l'oxyde d'étain, dépourvus de l'éclat métallique, et ordinairement noyés dans une gangue qui les rend presque méconnaissables.

Si l'on poursuit cet aperçu rétrospectif à travers le moyen age, on voit qu'il existe, dans différentes contrées de l'Europe, quelques centres d'exploitation qui conservent leur importance depuis une époque reculée. Ainsi, l'on sait que les puissants gîtes de fer de l'île d'Elbe, et ceux de fer spathique des Alpes de Styrie, si éminemment propres à la fabrication de l'acier, étaient exploités dès l'antiquité. L'Espagne nous offre les exemples les plus remarquables de cette permanence : telles

(1) Ces anciens vestiges de l'industrie du fer ont été particulièrement décrits par MM. de Taillefer et Jouannet.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sont les mines de mercure d'Almaden, déjà en activité trois siècles avant notre ère, et qui sont restées encore si riches et si productives, ainsi que les gîtes de plomb argentifère des environs de Carthagène; de même les gîtes de pyrite cuivreuse de Rio-Tinto, en Andalousie, et de San-Domingos, en Portugal, après avoir procuré aux Phéniciens et aux Carthaginois du cuivre en quantité considérable, figurent encore aujourd'hui parmi les principales mines de l'Europe.

Mais, le plus généralement il n'en est pas ainsi; on arrive à reconnaître qu'un très-grand nombre de mines, autrefois florissantes, en France et ailleurs, sont aujourd'hui complétement abandonnées. Cet abandon peut avoir plusieurs causes :

Il est des cas où il résulte d'un épuisement réel du gîte, comme il arrive pour certains amas de dimension restreinte. Ce fait paraît aussi avoir été assez fréquent pour les alluvions aurifères. Il y a peu d'années, on a été témoin d'un prompt appauvrissement de ce genre en Californie, pour le lit des rivières qui, après avoir surpris par leur richesse extraordinaire, ne sont déjà plus exploitables.

Le plus souvent, un gîte devient inexploitable sans être épuisé, par suite de modifications, quelquefois considérables, dans les conditions économiques. C'est ce qui s'est passé à toutes les époques et se produit encore journellement pour les filons métallifères. La quantité considérable dont le salaire de la main-d'œuvre s'est accru chez nous depuis le moyen âge, et surtout depuis l'antiquité, est une première cause très-notable de perturbation. C'est ainsi que, dans l'intérieur de l'Afrique, les nègres pratiquent l'orpaillage dans des rivières où les ouvriers européens ne pourraient le faire avec profit. Les Chinois, par leur sobriété et leurs faibles exigences, nous donnent un exemple semblable dans les alluvions aurifères de Californie et d'Australie, dont le monopole leur est resté. D'un autre côté, la valeur des métaux a varié en sens inverse et a subi une diminution considérable qui, pour les principaux d'entre eux, continue encore aujourd'hui, par suite des décou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vertes qui les ont rendus ou les rendent chaque jour incomparablement plus abondants qu'autrefois. Les anciens, réduits à l'exploitation d'un espace beaucoup plus limité que celui qui est aujourd'hui ouvert à nos investigations, et privés, d'ailleurs, des moyens de transport qui admettent tous les pays à la jouissance d'une même substance, étaient en quelque sorte forcés de tout tirer de leur sol, et par conséquent un minerai, quelque pauvre qu'il fût, était précieux pour eux. Une autre cause d'abandon résulte de l'accroissement de dépenses que présentent nécessairement les travaux que l'on poursuit dans la profondeur, lors même que l'affluence des eaux ne vient pas les aggraver.

Ces causes auxquelles on pourrait, en quelques cas particuliers, en joindre d'autres, telles que les guerres qui sont venues désoler autrefois certains pays et rompre les traditions relatives à l'exploitation, suffisent pour rendre compte de l'abandon de nombreuses mines métalliques, autrefois célèbres, tant en France que dans d'autres pays.

L'amoindrissement que subit, en ce moment même, le principal centre de production du cuivre de l'Europe, le Cornwall, nous présente un exemple bien frappant des deux principales influences que nous venons d'indiquer. Ces mines étaient encore très-florissantes il y a vingt ans, lorsque l'accroissement énorme de production de cuivre du Chili et de quelques autres contrées lointaines, joint à l'approfondissement devenu très-considérable, a amené un état de souffrance tel que, dans ces dernières années, la production a diminué de moitié et qu'elle continue encore à décroître.

Toutefois, il ne faudrait pas conclure de ce qui précède que tous les filons métallifères, ceux, par exemple, qui sillonnent par milliers le plateau central de la France, soient délaissés sans retour possible. Si un grand nombre de tentatives de reprises ont été infructueuses, on doit l'attribuer au défaut de capitaux, plus généralement au manque d'une direction habile et persévérante, et aussi à l'absence de traditions sur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les exploitations antérieures. Mais des faits récents, dont l'Exposition elle-même nous fournit le témoignage, prouvent que ces entreprises peuvent encore prospérer, sous une direction judicieuse, éclairée des lumières de la théorie, en même temps que douée du sens pratique.

CHAPITRE II.

COMBUSTIBLES.

§ 1. — Combustibles des différents âges.

La houille est à la fois le plus connu et le plus utile de tous les combustibles que l'on extrait des masses pierreuses qui nous supportent. En produisant la lumière, la chaleur et la force, elle est d'une importance capitale pour l'économie actuelle des sociétés.

Pour ne citer qu'un seul exemple, nous prendrons la Grande-Bretagne, qui est la contrée de l'Europe la plus favorisée pour l'abondance avec laquelle elle est dotée de cette matière. Elle a produit, en 1866, 101 millions de tonnes, dont l'extraction occupe 250,000 ouvriers qui, avec leur famille, représentent environ un million de personnes vivant de cette industrie. Les salaires pour l'exploitation s'élèvent annuellement à plus de 300 millions de francs. La valeur de cette houille, sur le lieu d'extraction, est extrêmement élevée; car elle est de 635 millions de francs. Cependant, les industries dont elle provoque la création autour d'elle, correspondent à un développement de richesse bien plus considérable encore.

Bien que les combustibles minéraux enfouis dans les divers étages des terrains stratifiés, présentent de nombreuses variétés qui passent graduellement de l'une à l'autre, on y distingue trois types principaux, aussi bien d'après leur composition élémentaire qu'au point de vue de leurs usages industriels; ce sont: *le lignite, la houille et l'anthracite.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour compléter ce groupe et le relier aux végétaux vivants, auxquels il se rattache par son origine, il conviendrait peut-être de placer en tête la *tourbe*, formée de plantes herbacées qui ont subi une décomposition partielle, à laquelle ils doivent leur couleur brun foncé. Il y a des lignites, en effet, qui ne paraissent être que de la tourbe rendue compacte par une forte compression. Les lignites passent eux-mêmes à la houille, qui en diffère surtout par son aspect brillant, par la couleur noire de sa poussière, par sa résistance aux dissolvants, ainsi que par une proportion de carbone plus forte et une moindre proportion de matières volatiles. Une différence de composition élémentaire, du même ordre que cette dernière, distingue l'anthracite de la houille et, plus encore, du lignite.

A raison des passages qui existent toujours entre les trois principales sortes de combustibles, on pourrait les réunir sous le nom général et vulgaire de *charbons minéraux*.

L'origine végétale de la houille, généralement admise depuis le commencement de ce siècle, s'est trouvée confirmée par les expériences synthétiques qui ont produit la houille et l'anthracite, par la transformation des plantes ou du bois, sous l'action simultanée de la chaleur et de la pression. Ainsi, du bois de sapin, soumis, en vase hermétiquement clos, à l'action de l'eau surchauffée à 300° et ayant acquis la très-forte pression qui correspond à cette température, s'est métamorphosé en globules arrondis, d'un noir brillant et comme fondus, qui ne sont autre chose que de l'anthracite.

Depuis longtemps, les botanistes, de leur côté, avaient reconnu que la houille est d'origine végétale, et cela, en observant que des végétaux ont été très-fréquemment transformés en houille, sans perdre leur forme antérieure, ni même leur organisation interne. L'anthracite lui-même avait été reconnu, par M. Bailey, comme présentant encore dans ses cendres les squelettes bien caractérisés de cellules et de vaisseaux de certains végétaux.

M. le professeur Gœppert, de Breslau, a poursuivi ces

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

études, et, à la suite de longues recherches sur les bassins houillers de la Silésie, il a précisé certaines circonstances relatives à l'origine de la houille. Il arrive à définir les différents genres de végétaux qui contribuent à cette formation, non-seulement en examinant les empreintes contenues dans les schistes et les grès qui avoisinent chaque couche de houille, mais aussi celles que renferme la houille elle-même. Les principaux résultats de ces études intéressantes sont représentés à l'Exposition par une série d'échantillons de houille appartenant à divers types ainsi que par des photographies. On arrive ainsi à distinguer la part qui revient, dans ces diverses variétés de houille, aux sigillaires associés aux stigmariées qui s'y rattachent; puis aux conifères et surtout aux araucariées réunies aux calamites et aux noegarathées; les lépidodendrées et les feuilles de fougère sont en moins grande quantité.

La houille, ainsi que les autres combustibles minéraux, se trouve en général sous forme de couches ou de bancs, c'est-à-dire sous forme de plaques terminées par deux surfaces sensiblement parallèles. Ces couches de houille sont associées à des matières pierreuses, également disposées par couches parallèles à celles de la houille. Ces matières pierreuses consistent ordinairement en argile schisteuse, que l'on connaît sous le nom de schiste houiller, et en grès ou sable aggluliné d'une manière plus ou moins cohérente. Dans des cas très-rares, elle alterne avec des couches de calcaire.

L'examen de ces différents matériaux prouve, d'une manière incontestable, que les matières pierreuses et la houille elle-même ont été déposées par les eaux, soit dans le bassin de lacs, soit sur le littoral de mers qui existaient, à cette époque, à la surface des contrées où l'on observe aujourd'hui la houille.

Les couches houillères ont été formées horizontalement; mais elles ont perdu cette horizontalité première. Elles doivent ce changement à des ploiements, à des redressements

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ou des ruptures, tels qu'on en trouve de toutes parts des vestiges dans l'écorce terrestre. C'est aussi par suite d'actions analogues que les massifs, dont elles font partie, sont actuellement émergés.

Aujourd'hui encore, nous voyons les végétaux s'accumuler, en grande quantité, sur différents points. Ce phénomène se produit dans trois conditions principales : 1° Dans l'accumulation de plantes herbacées, connue sous le nom de tourbières, qui se produit sur de grandes étendues et des épaisseurs parfois de plusieurs mètres, le plus souvent dans les plaines basses qui bordent les rivières, quelquefois aussi sur les plateaux élevés; 2° Dans les forêts sous-marines, comme celles qui s'étendent sur les côtes de France et d'Angleterre et qui résultent de l'enfouissement d'anciennes forêts, submergées par suite de l'affaissement du sol, puis nivelées et recouvertes d'attérissements de la mer; 3° Dans le charriage produit par certains cours d'eau, tels que le Mississipi, qui, passant au milieu des forêts, charrient à certaines époques des bois en abondance, quelquefois même sous forme de radeaux; ces bois, portés dans des lagunes ou dans la mer, ne tardent pas à tomber au fond, une fois qu'ils sont imbibés d'eau; ils vont s'enfouir sous des sédiments limoneux ou sableux, tels que ceux qui sont associés à la houille.

C'est dans des conditions sans doute analogues à celles que nous venons de citer, et particulièrement aux deux premières, que se sont accumulés les végétaux qui ont produit la houille. On reconnaît, en effet, qu'elle s'est formée principalement, non au moyen de matériaux *charriés* à distance, et plus ou moins lacérés ou décomposés, mais souvent à l'aide d'une végétation *sur place*, comme l'indique la délicatesse de conservation des innombrables empreintes de feuilles et de tiges que l'on y rencontre.

Ces végétaux, ainsi accumulés et enfouis sous des sédiments, et, par conséquent, soustraits à l'action de l'atmosphère, ont subi, sous l'influence d'une compression très-énergique et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

évidente, aidée probablement d'une certaine élévation de température, une sorte de *carbonisation humide*.

Tout annonce aussi que la formation de la houille a exigé de très-longs laps de temps.

Quant aux différences de nature et de qualité que présentent les combustibles minéraux entre eux, et même quant aux différentes qualités des houilles grasses, maigres, anthraciteuses, etc., elles paraissent tenir non-seulement à des variations dans les circonstances de pression, de température, de milieu ambiant, qui ont accompagné la transformation des végétaux, mais aussi à des dissemblances que, dès l'origine, ces mêmes végétaux présentaient dans leur composition.

Ainsi, la houille ne diffère pas moins par son origine et son mode de formation que par sa composition même des masses pierreuses avec lesquelles elle alterne. En effet, celles-ci sont, en général, de nature inorganique et proviennent, pour la plupart, de la démolition et du remaniement de roches préexistantes. Au contraire, on sait que le carbone fixé dans les végétaux provient de la décomposition de l'acide carbonique de l'air sous l'action des rayons solaires, en sorte que la chaleur développée par leur combustion est comme l'équivalent de ce qu'ils ont soustrait au soleil, et qu'ils restituent simplement en brûlant. Cette conclusion doit donc être étendue à la houille ; la chaleur et la force qu'elle produit sont aussi empruntées au soleil.

L'importance des combustibles minéraux, dans l'économie des sociétés modernes, est devenue telle que l'étude de leurs gisements est une question capitale, tant pour notre époque que pour les siècles à venir.

On sait que les terrains stratifiés, c'est-à-dire disposés par couches ou *strates*, constituent la plus grande partie des continents. Les couches dont ils sont formés sont empilées sur des épaisseurs extrêmement considérables qui, dans beaucoup de régions, atteignent plusieurs milliers de mètres, et leur formation correspond à des laps de temps d'une immense du-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rée. A l'aide des caractères de stratification et au moyen des fossiles qui y sont enfouis, ils ont été divisés en groupes, d'âges successifs, correspondant eux-mêmes à de longues périodes que l'on peut suivre, en descendant, jusqu'à l'époque de la formation des roches cristallines.

C'est à la partie supérieure de la série, dans un groupe déterminé, que l'on a nommé paléozoïque, que la houille s'est produite, avec une prédominance très-remarquable au double point de vue de l'utilité et de la théorie; aussi a-t-on donné à ce système de couches le nom de *terrain houiller*, ou, d'une manière plus générale, celui de *terrain carbonifère*.

Dans la série puissante des couches siluriennes et dévoniennes, qui sont antérieures au terrain carbonifère et le séparent de l'assise cristalline, on ne rencontre pas, en général, de couches de combustible, au moins en quantités exploitables. Des conditions toutes spéciales se sont donc produites à l'époque houillère, et sur de vastes étendues, en Europe aussi bien qu'en Amérique.

Le système de couches, réuni sous le nom de terrain carbonifère, atteint lui-même de très-grandes épaisseurs, souvent plusieurs milliers de mètres. Quand il est complet, il se compose de trois groupes principaux : l'un, inférieur, reposant souvent sur le système dévonien, essentiellement calcaire, est connu sous le nom de *calcaire carbonifère;* l'autre, moyen, principalement formé de grès, a reçu le nom de *millstone grit*, parce qu'en Angleterre, on y exploite des meules ; le troisième, le *groupe houiller*, proprement dit, formé surtout, comme on l'a dit, d'argiles schisteuses et de grès. On peut, en général, considérer ces deux derniers groupes comme plus intimement liés entre eux qu'avec le premier; d'autant plus que l'étage moyen est souvent peu développé. L'on n'a alors que deux groupes, l'un *inférieur* et calcaire, l'autre *supérieur* et arénacé.

On admet généralement que, dans les terrains plus récents que le terrain carbonifère, les combustibles ont une puis-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sance calorifique moindre que ceux de ce dernier terrain. Toutefois, malgré le privilége incontestable du terrain houiller, des combustibles très-utilement exploitables et portant même le nom de houille, se trouvent parfois dans des terrains plus récents. C'est ainsi que la houille de Steyerdorf, dans le Banat, et celle de Funfkirchen, en Hongrie, sont bien postérieures et sont rapportées à l'étage du terrain jurassique connu sous le nom de lias. Toutes ces houilles, qui figurent à l'Exposition, sont de bonne qualité et peuvent donner du coke. Il en est de même dans les Alpes de Styrie, à Lilienfeld, localité dont la houille est exposée. Ce dernier combustible sert aux mêmes usages que la houille proprement dite, et même, d'après les expériences de M. F. de Hauer, sa puissance calorifique est supérieure à celle de certaine houille du terrain houiller.

En Portugal, on connaît aussi et on exploite même une sorte de houille de bonne qualité dans le terrain jurassique. Le terrain crétacé et particulièrement l'étage dit néocomien, donne également de bonne houille dans divers pays, tels que le nord de l'Allemagne, aux environs de Hanovre et d'Osnabruck. Il en est de même dans les Pyrénées, à Ernani, et en Espagne, où le meilleur combustible, après celui du terrain houiller, appartient au terrain crétacé, comme aux environs de Montalban, province de Teruel.

Enfin, le combustible exploité en Toscane, à Monte-Bamboli, et qui peut servir également à faire du coke, se trouve dans le terrain tertiaire de l'étage moyen.

Toutefois, c'est surtout à l'état de lignite que se présente le combustible des terrains plus récents que le terrain houiller, et particulièrement celui qui abonde dans les terrains tertiaires.

La nature du combustible minéral n'est donc pas, comme on l'a cru pendant longtemps, en rapport nécessaire avec son ancienneté.

D'un autre côté, un même groupe de couches présente par-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fois, dans la nature des combustibles qu'il renferme, des différences qui conduisent à la même conclusion.

L'anthracite n'occupe pas toujours un étage inférieur à celui de la houille ; dans un même bassin houiller, on trouve souvent, au même niveau, de la houille proprement dite et de l'anthracite ; c'est ce qu'on observe dans le pays de Galles, dans le bassin du Donetz et, sur une moindre échelle, dans le département de Saône-et-Loire et dans le bassin du Creusot. Ces différences paraissent être en relation avec certaines actions spéciales, qui se sont produites dans les diverses parties des mêmes couches, et que l'on rapporte au métamorphisme.

Il y a plus : depuis qu'on a étudié attentivement les vastes terrains houillers de la Russie, on a reconnu une transition encore plus significative. Les sondages qui ont été faits dans la région centrale, notamment ceux exécutés en 1858 dans le gouvernement de Toula, à Malowka, quoique opérés, sur toute leur hauteur, dans des couches qui appartiennent incontestablement au terrain carbonifère, ainsi que l'attestent les productus et autres fossiles qui y abondent, ont rencontré des couches d'un lignite terreux très-impur, mélangé de matières argileuses et présentant tous les caractères de lignites récents. Comme complément de ressemblance, on a même trouvé, dans ces couches terreuses, du mellite (mellitate d'alumine) en cristaux jaunes, ressemblant au succin ; or, le mellithe n'avait, jusqu'alors, été rencontré que dans des lignites modernes, comme à Artern, en Thuringe, ou près de Bilin, en Bohême.

Ainsi donc, il existe des lignites qui sont subordonnés au terrain carbonifère, tout aussi bien que les houilles maréchales du bassin du Donetz et que l'anthracite situé dans la région occidentale de ce même bassin. La colonne, exposée par les cosaques du Don, offre un spécimen remarquable de cet anthracite si bien caractérisé.

Dans cette région, où les couches sont restées horizontales, les combustibles produits par l'enfouissement des végétaux, ont été à peine modifiés, et les matières pierreuses ont elles-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mêmes conservé leur caractère originel : par exemple, des calcaires, appartenant également au terrain carbonifère, sont blancs et friables, rappelant tout à fait certains calcaires récents, tels que ceux des terrains jurassiques ou crétacés.

La vue de l'Exposition ne donne aucune idée de l'importance de l'industrie de la houille. Tandis que les produits métallurgiques et autres produits ouvrés y prennent une large place et fixent le regard, on n'y remarque qu'un nombre relativement très-petit de ces exploitations houillères, qui occupent tant de milliers d'ouvriers. Ces dernières même ne sont représentées que par des échantillons de houille qui n'appellent aucunement l'attention, si l'on en excepte toutefois les blocs rapportés de la Nouvelle-Écosse et de la Nouvelle-Galles du Sud. Ces blocs montrent, sur toute leur épaisseur, les couches de houille, exceptionnellement puissantes, que l'on exploite dans ces contrées (1).

§ 2. — France.

La France possède des bassins houillers assez nombreux ; car, sans compter les lambeaux de très-petite dimension, il en existe plus de quarante, répartis dans trente de nos départements ; mais la plupart sont de petite étendue. Leur superficie totale n'atteint pas 4,000 kilomètres carrés. La carte géologique de France de MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont donne une idée exacte de leur distribution, qui est coordonnée au relief des divers massifs montagneux.

La plupart de ces bassins sont superposés au plateau central formé de terrains anciens, et situés sur le littoral des terrains secondaires, qui s'étendent tout autour de ce massif proéminent.

(1) Nous pouvons mentionner aussi certaines collections d'ensemble, notamment celles qui montrent les principales couches de la Loire et du Pas-de-Calais, ainsi que celles de la Belgique et de la Prusse ; puis, à raison de leur dimension, certains blocs de houille, tels que le bloc de Pensylvanie, pesant 3,700 kilogrammes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le principal d'entre eux est le bassin de la Loire qui, sur une surface de 260 kilomètres carrés, présente la plus riche concentration de houille. Ces charbons, dont les principaux centres d'exploitation sont groupés autour de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier, sont, en même temps, les plus convenables pour la forge et pour les usages métallurgiques.

Les bassins de Saône-et-Loire sont bien connus par les exploitations de Blanzy, du Creusot et d'Epinac. Les bassins de Bezenet et de Commentry, dans l'Allier ; ceux de Decize, dans la Nièvre ; de Brassac et de Saint-Éloi, dans le Puy-de-Dôme ; d'Ahun, dans la Creuse, donnent aussi des chiffres élevés d'extraction. D'autres, tels que ceux de Bert et de Mauriac, jusqu'à présent éloignés du réseau des chemins de fer, n'ont encore donné qu'un faible produit.

Parmi les bassins qui s'appuient sur le plateau central, dans sa région méridionale, le bassin du Gard est le plus productif. Celui de l'Aveyron, d'une étendue de 120 kilomètres carrés, depuis longtemps connu par les usines métallurgiques qu'il alimente, paraît appelé à se développer encore davantage. Les bassins houillers de Graissessac (Hérault) et de Carmaux (Tarn), reliés au chemin de fer, pourront accroître progressivement leur extraction.

La production totale des bassins du centre peut être évaluée à 6 millions de tonnes, dont le seul bassin de la Loire fournit la moitié.

Le bassin des départements du Nord et du Pas-de-Calais n'est autre que le prolongement, au-dessous des terrains plus modernes, du terrain houiller de la Belgique, qui se montre à découvert depuis Aix-la-Chapelle jusqu'au delà de Mons. Il produit au delà de 3,500,000 tonnes.

Dans l'ouest, on possède le bassin de la Sarthe et de la Mayenne, de la Basse-Loire et quelques autres de moindre importance, qui reposent sur les terrains anciens de la Bretagne. Au total, les bassins de l'ouest ne produisent que 280,000 tonnes. Le supplément nécessaire à la consommation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du marché littoral, de Brest à Nantes et à Bordeaux, est presque exclusivement fourni par les houillères anglaises.

Le bassin de Ronchamp (Haute-Saône), qui s'appuie sur le revers méridional des Vosges, fournit une extraction de 200,000 tonnes.

C'est le bassin de Sarrebruck, dont la production dépasse aujourd'hui 3 millions de tonnes, et dont plus du tiers est exporté en France, sous forme de houille ou de coke, qui alimente pour la plus grande partie les industries de cette région de l'Empire. Toutefois, le prolongement du bassin de Sarrebruck, qui, dans la Moselle, a été atteint sous les terrains secondaires, produit déjà 150,000 tonnes.

Il convient de signaler ici le terrain qui, dans la région occidentale de la chaîne des Alpes, principalement en Dauphiné et en Savoie, ainsi que dans le Valais et le Piémont, renferme des couches d'anthracite, et que beaucoup de géologues rapportent au terrain carbonifère.

A côté des couches à anthracite où ce combustible est exploité en abondance aux environs de Lamure, on l'extrait également dans une autre région qui s'étend du Briançonnais à travers le département de la Savoie, où sa largeur atteint 15 kilomètres et se poursuit jusque dans le département de la Haute-Savoie. Dans cette seconde région, on exploite l'anthracite dans un grand nombre de localités, notamment aux environs de Saint-Michel et d'Aime. On n'y connaît pas moins de 60 à 70 couches d'anthracite, dont l'épaisseur varie, pour un certain nombre, de 1 à 3 mètres.

Ce n'est pas d'après la quantité extraite que l'on peut mesurer l'importance de cet anthracite ; dans un certain nombre de communes, les populations, privées de tout espèce d'autre combustible, vont chercher l'anthracite, de la manière la plus pénible, à dos de mulets, jusqu'à des altitudes qui, pour diverses mines, dépassent 2,000 mètres.

D'ailleurs, ce combustible, grâce au développement des voies de communication et au prolongement du chemin de fer

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jusqu'à Saint-Michel, est peut-être appelé à fournir des produits plus importants, quand ses ressources seront mieux connues et mieux appréciées, et que de meilleurs moyens de transport permettront d'en tirer parti. Le pays même et le nord de l'Italie, qui manquent à peu près de combustible minéral, pourront lui offrir des débouchés.

Il a été récemment reconnu que des couches de combustible médiocre, sur lesquelles on faisait des recherches depuis quelque temps dans le département des Basses-Pyrénées, aux environs de Bayonne, sont accompagnées d'empreintes de plantes qui caractérisent le terrain houiller. Ces recherches se poursuivent. Quoi qu'il en soit, la découverte du véritable terrain houiller dans les Pyrénées, méritait d'être mentionnée ici. Comme dans d'autres régions, il est recouvert par des couches arénacées appartenant au trias ou au terrain permien.

Parmi les dépôts de lignite de la France, qui sont destinés à acquérir plus d'importance qu'ils n'en ont eu jusqu'à ce jour, il convient de mentionner celui de l'arrondissement de Forcalquier, dans le département des Basses-Alpes. Ce bassin, situé entre la montagne de Lure et la ville de Manosque, sur la rive droite de la Durance, n'est encore entré que pour une part insignifiante dans la consommation; mais il renferme plusieurs couches épaisses de lignite, régulières et dont quelques-unes sont de bonne qualité. Aussi, dès que le chemin de fer, en cours d'exécution, atteindra cette partie des Alpes et qu'on aura exécuté des galeries d'écoulement des eaux, il est probable que l'extraction de ce combustible pourra se développer considérablement. Il est d'ailleurs à observer qu'à proximité de ces couches de lignite, comme de celles de Fuveau (Bouches-du-Rhône), se trouvent des couches de calcaires, susceptibles de donner des chaux hydrauliques et des ciments.

Les plus importantes exploitations de lignite de la France sont celles de la Provence et particulièrement celles du bassin

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de Fuveau, dans le département des Bouches-du-Rhône. Le chiffre d'extraction a atteint, en 1864, 190,000 tonnes ; depuis lors, il a un peu faibli, par suite de la concurrence que lui font les houilles sur le marché de Marseille. Ce lignite est rapporté aux couches inférieures du terrain tertiaire ; on l'a même considéré comme appartenant à la craie supérieure, dont elle constituerait la partie lacustre.

En France, comme dans d'autres pays, certains dépôts de lignite n'empruntent leur valeur qu'à la pyrite de fer qui y est mélangée en forte proportion, et qui permet d'en tirer parti pour la fabrication du sulfate de fer et de l'alun, comme dans le petit bassin tertiaire de Bouxviller (Bas-Rhin).

Il ressort du dernier document officiel publié par l'Administration des Mines, que de 1860 à 1864, la production houillère de la France n'a pas cessé de se développer et qu'elle s'est élevée de 8,300,000 tonnes à 11,200,000, c'est-à-dire qu'elle s'est accrue de 2,900,000 tonnes. D'autre part, si l'on se rappelle qu'en 1851, l'extraction, pour toute la France, n'atteignait pas 4,500,000 tonnes, on voit qu'en quatorze ans, la production indigène est devenue deux fois et demie plus considérable. Depuis cette publication, la production a continué à s'accroître. En 1866, elle était de 12 millions de tonnes d'une valeur de 140,400,000 francs, soit 11 fr. 70 la tonne. En 1867, elle paraît devoir s'élever, d'après les dix premiers mois de l'année, à 12,360,000 tonnes d'une valeur de 153,264,000 francs. Ainsi, la production française a augmenté de 5 millions de tonnes depuis dix ans ; le prix de vente moyen, qui était de 12 fr. 46 en 1856, n'a pas sensiblement varié.

Au 1er novembre 1867, il existait 610 concessions de mines de houille occupant une superficie de 2,667 kilomètres carrés.

Le chiffre des ouvriers, en 1864, dépassait 77,000, et le salaire total s'élevait à 58 millions de francs, ce qui établit le salaire annuel par individu, à environ 750 francs (1).

(1) Parmi les publications nombreuses, dont les bassins houillers de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La production indigène de houille et de lignite s'est répartie en 1864, entre les 71 bassins exploités, conformément au tableau ci-après :

Bassin de Valenciennes	3,121,737	tonnes.
— de la Loire	3,043,053	—
— d'Alais	1,168,362	—
— de Commentry	779,916	—
— du Creusot et de Blanzy	680,940	—
— d'Aubin	501,009	—
— de Ronchamp	205,481	—
— d'Aix	192,299	—
— de Brassac	173,590	—
— d'Épinac	153,980	—
— de Saint-Gervais (Graissessac)	148,702	—
— de la Sarre	140,701	—
— de Carmaux	112,583	—
— de la Basse-Loire	106,247	—
— de Decize	102,176	—
— du Maine	100,492	—
Plus 55 autres bassins	513,460	—
Total	11,244,728	tonnes.

Les exportations sont réparties, ainsi qu'il suit, entre les divers pays de destination :

Suisse	90,660	tonnes.
Italie	68,130	—
Belgique	54,030	—
Turquie et Égypte	37,490	—
Algérie	26,370	—
Espagne	10,520	—
Etats-Romains	8,330	—
Le total de l'exportation s'élevait à la même époque à	342,860	—

France ont été l'objet, nous devons citer, avant tout, la description géologique de la France, par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

M. Amédée Burat a récemment publié sous le nom de *Les Houillères de la France* un ouvrage qui résume très-bien les conditions actuelles de l'exploitation, et auquel un certain nombre de faits statistiques qui précèdent ont été empruntés.

L'ouvrage que M. Geinitz a publié, en Allemagne, sur les charbons minéraux, mérite aussi d'être signalé ici.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quant aux quantités de houille importée en 1864, elles provenaient, dans les proportions suivantes, de la Belgique, de l'Angleterre et des provinces rhénanes :

Belgique	4,017,660	tonnes.
Grande-Bretagne	1,326,380	—
Provinces rhénanes	1,287,660	—
Pays divers	1,350	—
Total	6,633,050	—

§ 3. — Iles Britanniques.

Ce sont les Iles Britanniques, et particulièrement l'Angleterre, qui, pour la houille, forment la partie privilégiée, non-seulement en Europe, mais encore dans l'ancien monde. La surface des bassins houillers y atteint 15,700 kilomètres carrés. Leur production annuelle est bien supérieure à celle de toutes les régions du globe réunies.

Les divers bassins houillers de l'Angleterre, dont les principaux sont ceux de Durham et de Northumberland, Yorkshire, Lancashire et Sud du pays de Galles, ont été l'objet de trop nombreuses descriptions pour qu'il y ait lieu d'en parler longuement. Ceux de l'Ecosse et d'une partie du Northumberland, offrent cette circonstance qu'ils sont associés au calcaire carbonifère, et occupent, par conséquent, la partie inférieure du système carbonifère, niveau plus ancien que celui des couches houillères de l'Angleterre centrale et méridionale. Quant à l'Irlande, où le système est représenté par le calcaire carbonifère, et occupe les deux tiers de sa superficie totale, l'étage productif en houille y est comparativement très-restreint. Cette condition géologique de l'Irlande contraste, d'une manière frappante, avec celle de l'Angleterre si favorable, au contraire, à toutes les branches d'industrie qui ont besoin de combustibles ; car la tourbe, très-abondamment répandue en Irlande, ne peut remplacer la houille.

Quelque considérables que soient les ressources de l'An-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gleterre, l'accroissement de l'extraction qui, dans la dernière période de dix ans, a été en moyenne d'environ 3,5 pour 100, a récemment inspiré des inquiétudes pour l'avenir. L'importance que, dans ce pays éminemment pratique, on attribue à la houille, est telle, qu'une enquête a été ordonnée et se poursuit en ce moment.

La production en houille des Iles Britanniques s'est élevée, en 1866, au chiffre énorme de 101,630,543 tonnes, d'une valeur de 635 millions de francs. En tête de la production figurent les comtés de Durham et de Northumberland (25,194,550), Lancashire (12,320,500), Staffordshire et Worcestershire (12,320,500), et Yorkshire (9,714,700). Toute l'Ecosse figure pour 12,625,000 et l'Irlande seulement pour 123,750 tonnes.

Le nombre des ouvriers employés aux houillères était, en 1865, de 315,000. La moyenne des salaires payés aux mineurs adultes, à Newcastle, était de 7 fr. 15 cent. par journée de sept heures.

L'emploi général de cette énorme quantité de houille mérite d'être connu. 29 millions de tonnes environ sont employées dans les usines à fer; 62 millions servent aux besoins domestiques et à divers usages, ce qui donne environ 2 tonnes par tête. Dans cette consommation intérieure, la seule ville de Londres figure, en 1866, pour une un chiffre 6,013,265 tonnes. Dans les deux années 1864 et 1865, cette consommation avait été de 5,468,045 et 5,903,271 tonnes.

Une quantité considérable est exportée dans toutes les régions du globe. Il n'est pas sans intérêt de jeter un coup d'œil sur le tableau des exportations faites en 1866, qui a été donné dans la statistique minérale que vient de publier M. Robert Hunt, au nom du Geological Survey. L'exportation qui, en 1856, était de 5,347,674 tonnes, s'est élevée, en 1866, à 9,367,749 tonnes.

Elle se répartissait ainsi :

France	1,898,125 tonnes.
Danemark	618,144 —

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Norvége	166,884	tonnes
Suède	253,026	—
Russie	520,014	—
Autriche	76,102	—
Allemagne	724.121	—
Prusse	430,015	—
Hollande	235,279	—
Belgique	64,843	—
Espagne	424,443	—
Portugal	147,147	—
Italie	521,760	—
Corfou, Gibraltar, Corse, Malte, Sicile, Majorque, etc	389,021	—
Grèce	29,642	—
Turquie	234,575	—
Afrique	408,788	—
Australie	18,356	—
Indes Orientales	660,086	—
Indes Occidentales	438,193	—
Amérique du Nord	303,217	—
Amérique du Sud	687,436	—

De 1855 à 1865, la production de la houille s'est accrue en Angleterre de 59 pour 100. Le nombre des mines s'est accru, dans ces dix dernières années, de 2,815 à 3,188, chiffre de 1866.

En 1866, malgré l'état de malaise et de forte dépression qui s'est manifesté dans beaucoup d'industries, et particulièrement dans celle du fer, la production de la houille a continué à s'accroître très-sensiblement. La rapidité de l'accroissement de ces dernières années résulte du tableau suivant :

		Accroissement.
1863	88,292,215	
1864	92,787,873	4,495,358
1865	98,150,587	5,127,145
1866	101,630,543	3,479,956

Pendant cette dernière année, d'une part l'exportation s'est augmentée de 782,631 tonnes, d'autre part on a consommé dans l'intérieur du pays 2,500,000 tonnes de plus que l'année dernière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La supériorité de l'Angleterre pour l'industrie de la houille ressort surtout de la comparaison des prix ; sur le carreau de la mine, elle ne coûte guère plus de la moitié de ce que coûte la houille en France, où l'on se propose, avant tout, de ne rien abandonner.

Avec une superficie houillère montant au cinquième de celle de l'Angleterre, notre production n'est pourtant que la neuvième de celle de nos voisins.

§ 4. — Belgique.

Le terrain houiller de la Belgique présente une disposition extrêmement remarquable, la forme d'une bande longue et étroite, qui traverse le pays, depuis Mons et Charleroi jusqu'à Liége. D'une part, vers l'ouest, son prolongement constitue le bassin du nord de la France ; d'autre part, vers l'est, elle se prolonge jusqu'aux environs d'Aix-la-Chapelle. Cette disposition linéaire est due à la manière énergique dont les couches ont été comprimées et plissées, ainsi que l'expriment si clairement les sections transversales du bassin. La longueur totale de cette zone dépasse 400 kilomètres ; elle constitue réellement un seul et même bassin, dont la surface est d'environ 2,500 kilomètres carrés, et qui paraît être, au moins jusqu'à présent, le plus riche du continent. La largeur moyenne n'est que de 6 à 10 kilomètres.

La partie belge de ce vaste bassin n'a pas produit, en 1865, moins de 11,800,000 tonnes, dont plus des trois quarts pour le Hainaut, et le reste, pour les environs de Liége et de Namur.

Sur la quantité de houille, extraite en 1864, qui avait été de 11,158,336 tonnes, 7,834,743 ont été consommées à l'intérieur, comme on l'a vu plus haut, et le reste exporté, pour la plus grande partie, en France, qui en a reçu 3,150,185 tonnes.

En 1864, le nombre des ouvriers employés dans les mines était de 79,779, dont 60,536 à l'intérieur, et 19,243, à l'extérieur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 5. — Prusse.

La Prusse renferme de riches bassins houillers.

Le puissant bassin de la Ruhr ou de Westphalie, situé sur la rive droite du Rhin, forme comme le prolongement de la zone houillère de la Belgique, tant par son alignement que par les ploiements de couches, auxquels il a été soumis. Dans la partie septentrionale, les couches, comme en Belgique et en France, sont recouvertes par le terrain crétacé, sous lequel les explorations, poursuivies depuis 1851, l'ont déjà fait reconnaître, dans la partie septentrionale, jusqu'à une longue distance de la limite de l'affleurement. Des puits vont rechercher cette partie recouverte, à des profondeurs de 360 à 400 mètres. Un profil général représente bien ces circonstances.

Dans ce bassin, on ne connaît pas moins de 90 couches, dont 60 sont exploitables et forment une épaisseur totale qui dépasse 50 mètres. Les couches supérieures, qui forment les deux cinquièmes de l'ensemble, fournissent des houilles grasses.

L'important bassin de Sarrebruck, qui repose sur le versant méridional du Hündsrucke, a une étendue de plus de 2,812 kilomètres carrés ; mais, à raison des éruptions de porphyre et de mélaphyre qui le traversent et des terrains plus récents qui le recouvrent en partie, il n'affleure guère que sur 1,680 kilomètres carrés, sans compter la partie qui se prolonge dans la Bavière rhénane. Le groupe des couches supérieures, qui est pauvre en houille, a, dans ces derniers temps, été rapporté au terrain permien. On y connaît 77 couches exploitables, c'est-à-dire de plus de 0^m 60, et formant une épaisseur totale de 80 mètres.

Le bassin houiller de la Haute-Silésie, le plus oriental et en même temps le plus riche, se prolonge jusqu'en Pologne et en Moravie. Il ne se montre aussi que par lambeaux isolés;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mais des sondages en ont également fait reconnaître la continuité sur une étendue considérable.

Dans sa partie principale, près de laquelle sont situés les centres de l'industrie du fer et du zinc, il renferme 35 couches exploitables, dont chacune n'a pas moins de 1 mètre, et dont le total atteint environ 100 mètres de puissance.

La Prusse possède, en outre, 6 autres bassins houillers moins importants.

Le total de la production de tous les bassins s'est élevé, dans une période de dix ans, de 1855 à 1865, de 7,982,329 à 18,592,115 tonnes métriques.

En tête de la production de cette dernière année, figure le bassin de la Ruhr, pour 9,165,670 ; la Haute-Silésie, pour 4,300,000 ; Sarrebruck, pour 2,950,000 tonnes.

A part ces précieuses richesses en houille, la Prusse abonde aussi en lignite. Une série de sondages, exécutés dans ces dernières années, a mieux fait ressortir encore la grande importance des dépôts de lignite que recèle la Prusse. Le terrain tertiaire, qui constitue une partie des plaines du royaume, en renferme presque partout. Ils sont d'ailleurs souvent recouverts, sur des épaisseurs peu considérables, par des couches quaternaires ou tertiaires, et sont accessibles à une faible profondeur. La province de Saxe, principalement dans les districts de Merseburg et de Magdebourg, est particulièrement riche en lignite. En dehors de la région des plaines, il en existe aussi particulièrement dans le Vogelsberg, le Habichtswald et le Westerwald, qui sont également dans des terrains tertiaires, et le plus souvent accompagnés d'épanchements de basalte et d'autres roches éruptives. Un certain nombre des couches de lignite exploitées dans ces bassins, atteint des épaisseurs de 10, 15 et 20 mètres. Des échantillons bien choisis en montrent les principales variétés. Les nombreux bassins exploités ou connus dans la province de Saxe et dans le Brandebourg, se trouvent particulièrement à Halle et aux environs de Francfort-sur-l'Oder.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'exploitation des lignites s'est très-considérablement augmentée en Prusse. Elle a plus que doublé depuis dix ans. Non-seulement les anciens usages de ce combustible pour chauffage de chaudières, évaporations, chauffage domestique, se développent; mais, dans ces dernières années, il est venu s'en joindre d'autres, à raison de l'emploi de ce combustible dans le chauffage au gaz et de la propriété que possèdent certaines variétés de produire de la paraffine en abondance, comme il arrive à ceux des environs de Halle et de Bonn, en Prusse.

La quantité de lignite qui a été extraite en 1865, de plus de 500 mines, s'est élevée à 5,021,446 tonnes; plus des trois quarts de cette production proviennent du district minier de Halle. Cette production n'était que de 1,085,000 tonnes, en 1847; de 2,636,700, en 1857, et de 3,681,000, en 1862; c'est une progression encore plus rapide que pour la houille.

On doit ajouter que les pays récemment annexés ont produit, en 1864, 208,850 tonnes dont les trois quarts appartiennent à la Hesse-Électorale.

§ 6. — Saxe.

Les bassins houillers de la Saxe ont aussi acquis une grande importance, particulièrement dans le Zwickau; leur production est évaluée, en nombres ronds, à 2 millions de tonnes, d'une valeur de 20 millions de francs, et obtenues au moyen de 13,499 ouvriers.

En outre, le royaume de Saxe renferme, comme la Prusse, d'importantes couches de lignite, dont l'extraction a été, en 1865, de 40,000 tonnes, d'une valeur d'environ 1,900,000 francs; l'exploitation du lignite occupe 2,300 ouvriers.

§ 7. — Autriche.

L'Autriche possède en Bohême un riche bassin houiller, sur lequel M. Michel Chevalier a depuis longtemps attiré l'at-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tentiôn (1). Ce même terrain se présente aussi en Moravie et dans la Silésie autrichienne, dans le prolongement du bassin de la Silésie prussienne.

Les couches de Funfkirchen, en Hongrie, et celles de Steyerdorf, en Banat, qui ont déjà été mentionnées comme se rapprochant tout à fait de la houille proprement dite, quoique appartenant au lias, sont exploitées sur une très-grande échelle. Celles de Funfkirchen, exploitées par la Compagnie de Navivation du Danube, ne sont pas au nombre de moins de vingt-cinq, d'une épaisseur totale de 45 mètres. La production de 1866 s'est élevée à 203,760 tonnes métriques; elle a été plus que doublée depuis 1859. Elle est exploitée par 945 ouvriers, et à l'aide de onze machines à vapeur ; elle revient à 0 fr. 60 sur le carreau de la mine. Cette houille est susceptible de produire un véritable coke, qui donne 8 à 12 pour 100 de cendres, et que l'on fabrique en grand; les échantillons de ce coke sont exposés à côté des coupes du terrain qui fournit le combustible.

La production de l'Autriche, en houille, est de 2,836,350 tonnes métriques.

L'Autriche, comme la Prusse, renferme d'énormes quantités de lignite, principalement en Bohême (Aussig et Töplitz), Moravie, en Styrie, en Hongrie, en Gallicie, dans la Haute et la Basse-Autriche et en Transylvanie. Une partie de ces lignites tertiaires, particulièrement ceux du nord de la Bohême, de la Styrie et de la Carinthie, se trouve en couches, dont l'épaisseur dépasse parfois 10 mètres, qui sont d'une excellente qualité.

L'extraction du lignite s'est élevée en Autriche, pour 1865, à 2,239,420 tonnes, c'est-à-dire qu'elle est à peu près égale à celle de la houille, dans le même pays. Le bassin d'Aussig et de Töplitz, en Bohême, y figure pour 700,000 tonnes.

L'un des principaux exploitants, M. Drasche, qui, pour sa part

(1) *Annales des Mines*, 1862.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seulement, en a extrait 350,000 tonnes, dans différentes parties de l'empire, expose une série d'échantillons, en même temps que diverses coupes, qui permettent de se représenter nettement les gisements de ce combustible.

§ 8. — Italie.

Bien que l'existence du terrain carbonifère en Italie soit aujourd'hui démontrée, on n'y a pas rencontré de couches importantes de houille. L'anthracite, que l'on connaît dans la vallée d'Aoste, ne fournit qu'une faible extraction annuelle, et le terrain carbonifère reconnu dans l'île de Sardaigne, à Seni, par M. le général de la Marmora, est pauvre en combustible.

A défaut de terrain houiller productif, l'Italie possède des dépôts de lignite, notamment en Toscane, en Piémont, en Ligurie, en Lombardie et en Vénétie.

Ils appartiennent au terrain tertiaire de l'époque miocène; parmi ceux-ci, il en est, comme celui de Monte-Bamboli, qui rivalisent avec la vraie houille du terrain houiller et qui peuvent donner du coke (1). Quelques-uns aussi appartiennent à l'époque tertiaire supérieure ou pliocène; ces derniers se rapprochent beaucoup de la tourbe.

La production des 16 mines de lignite exploitées a été, en 1864, de 42,900 tonnes, d'une valeur de 487,000 francs.

§ 9. — Espagne.

Quoique l'Espagne renferme de riches bassins houillers, l'exploitation de ce combustible n'y occupe encore qu'une faible place dans l'industrie minière de ce pays.

Le bassin houiller d'Oviedo ou des Asturies est le plus productif. Les concessions s'étendent sur une surface de 206 ki-

(1) Charbon..... 66,30
Matières volatiles..... 39
Cendres..... 4,70
TOTAL..... 110,00
Calories..... 109,00

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lomètres carrés et les couches possèdent une épaisseur très-considérable.

Il faut ensuite citer les bassins de Palencia et de Léon, qui forment comme la continuation du premier sur le versant méridional de la chaîne.

Le bassin de Belmès et d'Espiel, dans la Sierra Morena, qui est à la veille d'être mis en communication avec les chemins de fer, va sans doute fournir aussi son contingent.

On peut encore citer les bassins de Villanueva del Rio, près de Séville, et de Saint-Jean de Las Abadesas, en Catalogne. Il y en a encore de moins importants, comme celui de Hinajeros, province de Cuença.

La production de l'Espagne en houille a été, en 1865, de 360,245 tonnes et a occupé 6,250 ouvriers.

Dans le même royaume, on exploite aussi des combustibles dans des terrains plus récents que le terrain houiller. Les meilleurs charbons de l'Espagne, après ceux du terrain houiller, sont ceux qui sont subordonnés au terrain néocomien et qu'on exploite à Montalban, province de Téruel.

Beaucoup d'autres, tels que ceux d'Alcoy, royaume de Valence, et de Calas, en Catalogne, appartiennent au terrain tertiaire miocène, comme on en trouve dans beaucoup d'autres régions de l'Europe.

§ 10. — Portugal.

En Portugal, le terrain carbonifère ne forme que des lambeaux peu étendus. Le seul que l'on exploite, celui S. Pedro da Cava, qui alimente la ville de Porto, a produit, dans ces dernières années, 13,000 tonnes de combustible, consistant en un véritable anthracite.

Dans ce pays, c'est le terrain jurassique qui renferme des couches de charbon minéral exploitables, dans les provinces de Beira et de l'Estramadure. Les gîtes les plus remarquables sont ceux du cap Montego et ceux du district de Leiria, compris dans l'oolithe moyenne et supérieure.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 11. — Suède et Norwége. Islande. Spitzberg.

Suède. — La Suède expose aussi son lignite, que l'on ne trouve que dans une seule province, celle de Malmöhus. L'exploitation se fait principalement à Hoganas et a produit, en 1865, environ 40,000 tonnes. Ce combustible, de bonne qualité, appartient au lias. A part cette région méridionale, le sol du pays est presque entièrement formé de roches cristallines, telles que le gneiss, et de terrain silurien : on ne peut donc même y chercher le combustible.

Norwége. — Des couches de combustible viennent d'être signalées tout récemment par M. Dahl, à proximité des îles Lofoden, dans la partie septentrionale de la Norwége, et elles vont être l'objet de recherches.

Islande. — On peut aussi mentionner ici le lignite, connu en Islande sous le nom de *surtarbrandur*, que l'on exploite et qui figure également à l'Exposition. Il appartient au terrain tertiaire de l'étage moyen.

Spitzberg. — Déjà Scoresby avait signalé, dans les îles Spitzberg, la houille, en morceaux apportés par les glaciers, notamment dans le golfe de Glace, dans le Bell Sound et au Kolfjell; mais on n'avait pas cherché le gîte primitif de ce combustible. M. Blomstrand, l'un des membres de la Commission scientifique suédoise, l'a découvert en 1861, en gravissant le glacier et en explorant les montagnes du bassin, ainsi que ses moraines. Il a vu les couches de houille en place, en quatre points différents, sur une ligne de 2 kilomètres. Elle alterne avec des grès et des schistes, renfermant des vestiges nombreux de plantes. L'une des couches a $2^{m}50$ d'épaisseur et donne peu de cendres. L'exploitation de ces couches, à 2,500 mètres du rivage, et presque à fleur de terre, ne serait pas difficile pour les navires qui se trouvent dans ces parages; la baie King,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

située à proximité, est un des meilleurs mouillages du Spitzberg. Il est à ajouter que le calcaire carbonifère est connu dans cette contrée.

Outre le terrain houiller, il se trouve dans ces parages du lignite récent avec succin.

§ 12. — Empire russe.

En Russie, le terrain carbonifère, représenté seulement par le groupe inférieur ou calcaire carbonifère, occupe de vastes étendues, ainsi que l'ont appris depuis longtemps les importantes recherches de MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling ; il occupe trois régions différentes.

La région la plus importante pour l'exploitation, située au sud, est connue sous le nom de bassin du Donetz.

Ce bassin, sur lequel M. Le Play a publié un travail fondamental, à la suite de l'exploration qu'il en a faite en 1838, renferme en combustible les principales ressources connues en Russie. La production qui, dans ces dernières années, n'a guère dépassé, tant en houille qu'en anthracite, 100,000 tonnes, est bien inférieure à celle dont elle serait susceptible. Comme en Ecosse, les couches de houille alternent avec du calcaire parsemé de coquilles marines. Ce terrain houiller affleure sur une surface d'environ 16,000 kilomètres carrés, c'est-à-dire quatre fois plus grande que l'ensemble des concessions houillères de la France. Mais l'étendue réelle de ce bassin houiller est encore bien supérieure; car, au nord, à l'est et à l'ouest, il disparaît sous des terrains plus récents : sur quelques points, tels que Slavianska et Pétrovskoe, il en apparaît des lambeaux; de telle sorte que, malgré l'absence de recherches, il paraît bien probable que la partie cachée possède une étendue comparable à celle de la partie non recouverte par d'autres terrains. Lors même que les nombreux affleurements de houille connus dans ce bassin ne correspondraient qu'à une douzaine de couches, d'une épais-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seur totale de 9 à 10 mètres, le volume total de combustible présenterait des ressources considérables pour l'avenir ; quand des voies de communication convenables auront été créées, ce combustible trouvera sans doute d'importants débouchés, particulièrement pour la navigation de la mer Noire et des fleuves.

La seconde région constitue une large zone qui s'étend de la partie centrale de la Russie, située au sud de Moscou, vers le nord, jusque sur les bords de la mer Blanche, sur plus de 13 degrés de latitude. Il s'appuie, vers l'ouest, sur le système dévonien, et est recouvert, vers l'est principalement, par le terrain permien, qui lui est superposé.

Dans les gouvernements de Toula et de Kalouga, il donne lieu à des exploitations déjà assez fructueuses pour les sucreries et les usines à fer. Cependant, sur la plus grande partie de cette vaste étendue, on n'a encore rien trouvé d'exploitable. Ainsi, les recherches qui ont été faites aux environs de Moscou, ont rencontré de nombreuses couches de combustible, mais généralement de faible épaisseur et toujours trop mélangées de matières terreuses, moyennant 40 pour 100, pour qu'on ait pu lui trouver des emplois industriels. C'est cette sorte de lignite ou de combustible inachevé qui a été signalée plus haut. Dans cette deuxième région centrale et septentrionale, les couches ont conservé une horizontalité remarquable, que l'on ne retrouve pas dans les deux autres régions.

La troisième région se rattache à la chaîne de l'Oural.

Déjà, au commencement du siècle, on avait remarqué, dans le nord de la chaîne et sur le versant occidental, près des usines à fer d'Alexandrousk, des affleurements de couches charbonneuses. D'autre part, une exploration, qui remonte à 1827, faite par MM. Hoffmann et de Helmersen, avait fait reconnaître l'existence du calcaire carbonifère dans la région méridionale, où la rivière Sakmara apportait des morceaux de houille lors de ses crues. Après que l'exécution de la carte géologique de la Russie d'Europe eût montré, avec certitude,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que le terrain carbonifère s'étend sur tout le versant occidental de l'Oural, on rechercha la houille aux environs d'Artinsk, au moyen de plusieurs sondages qui restèrent sans résultat. En 1860, l'Administration des Mines provoqua l'exécution de nouvelles recherches, qu'éclairèrent très-utilement les études de M. Pander, qui fut si prématurément enlevé à la science et qui avait été envoyé sur les lieux, ainsi que celles de MM. Grünewald et Ludwig et de M. Möller. Ces explorations géologiques ont appris que, sur le versant occidental de l'Oural, la houille se trouve à deux niveaux différents : le niveau inférieur, situé à la base du calcaire carbonifère, à sa limite avec le système dévonien, est exactement le même que celui de la houille du bassin de Toula et de Kalouga, et se retrouve également sur le versant oriental de la chaîne, où il fournit la houille aux usines de Kaminsk; l'autre niveau est à la partie moyenne du calcaire carbonifère.

Ces explorations, accompagnées de sondages, poursuivies depuis l'année 1851 jusque dans ces dernières années, et que M. le général de Helmersen a récemment résumées dans un rapport, ont amené plusieurs découvertes utiles. Dans le district d'Alexandrowsk, on a trouvé, au voisinage de la houille, des couches de minerais de fer (oxyde hydraté) de bonne qualité, appartenant aussi au bassin houiller, et qui peuvent être d'une grande importance pour l'avenir de l'industrie du fer.

En résumé, dans les régions situées sur les deux versants de l'Oural où les couches de houille sont connues et déjà exploitées, les mines à fer et les 300 bateaux à vapeur du Volga offriraient des débouchés assurés. Ainsi, sur le versant oriental, dans le district houiller de Soukhoilok, les usines à fer de Kaminsk, si richement dotées en minerais, pourront peut-être tirer parti de la houille pour leur alimentation, car le combustible végétal commence à leur faire défaut.

Le système carbonifère se poursuit encore plus loin, vers

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'est, dans ces régions septentrionales ; car M. P. de Tchihatcheff l'a découvert dès 1842, sur le versant septentrional de l'Altaï. Comme en Europe, il est représenté par le calcaire carbonifère, renfermant des couches de houille que l'on commence également à exploiter.

Depuis peu d'années, on exploite dans la partie orientale du pays des Kirghis, aux environs de Akmolinsk et de Karkaralinsk, principalement pour la fusion, du minerai de cuivre et de plomb qu'on trouve dans la même contrée. La nature du terrain qui renferme ces couches et le voisinage du calcaire carbonifère les ont fait rapporter au terrain houiller (1).

En résumé, la production des quatre régions de l'Empire russe, où l'on exploite le terrain carbonifère, est représentée par les nombres suivants, qui se rapportent à l'année 1863 :

Bassin du Donetz	92,160	tonnes.
— de Moscou	21,020	—
— de l'Oural	11,610	—
— de l'Altaï	3,632	—

Ainsi le terrain carbonifère de la Russie, malgré sa vaste étendue, a été jusqu'à présent très-peu productif. Mais l'industrie houillère y date de moins de trente ans, et il est très-probable qu'on arrivera à découvrir de nouvelles ressources.

Dans diverses parties de l'Empire russe, en dehors du terrain houiller proprement dit et des terrains plus récents, on a découvert des gisements de combustible minéral. Deux méritent d'être signalés, comme étant devenus récemment l'objet d'exploitations.

Dans le Caucase, sur les bords du Kouban, on a rencontré une véritable houille, susceptible de donner du coke, bien qu'elle soit subordonnée au terrain jurassique. On en connaît une couche de plus de 6 mètres de puissance, déduction faite des schistes bitumineux auxquels elle est associée. Exploitée

(1) D'après ce qu'a bien voulu me communiquer M. de Koschkull, il serait alors comme la continuation de celui de l'Altaï.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seulement depuis 1861, elle a fourni, en 1865,2,300 tonnes. Dans une contrée où le bois abonde, et où l'industrie ne réclame pas d'autre combustible, cette houille n'est pas encore mise à profit, comme elle pourra l'être par la suite.

Du lignite est connu aussi sur le versant méridional du Caucase et à 100 kilomètres de la mer Noire, près de Koutaïs, également dans le terrain jurassique et dans des conditions de gisement semblables au précédent ; mais l'abondance des forêts est telle qu'on en a jusqu'à présent négligé l'extraction.

Dans la partie occidentale de la steppe des Kirghis, près du golfe Mort (Mertwoï Koultouk) et non loin d'Orembourg, on a aussi découvert, en 1855, du lignite en couches de plus de 3 mètres d'épaisseur et qui paraît appartenir au terrain tertiaire miocène, d'après les déterminations de M. Heer. Cette découverte, faite en 1855, est due au capitaine Antipoff et a donné lieu, en 1863, à une extraction de 5,800 tonnes.

Parmi les autres gisements de lignite connus, et la plupart inexploités, on citera encore celui que M. Sidoroff a découvert, en 1853, à Nisnaja Tongouska, sur le fleuve Taïmour. On a rencontré, il y a peu d'années aussi, du charbon minéral à l'est du Kamtschaka, dans l'île de Sakalin, où il sert aux vaisseaux russes qui viennent dans ces parages.

§ 13. — Turquie.

On connaît depuis longtemps en Asie-Mineure, sur le littoral de la mer Noire, entre Eregli (Héraclée) et Amasry, des couches de houille que l'on peut rapporter avec certitude au terrain carbonifère.

Bien que ce combustible ne soit pas de première qualité, il est mis à profit par le gouvernement pour les besoins d'établissements industriels et pour la navigation à vapeur.

§ 14. — Amérique du Nord.

États-Unis. — Le système carbonifère prend, dans l'Amé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rique du Nord, en surface et en épaisseur, un développement beaucoup plus grand qu'en aucune autre région du globe. Son étendue y est huit fois plus considérable qu'en Europe.

Aux États-Unis, le terrain carbonifère occupe une surface totale de 322,000 kilomètres carrés et se partage en plusieurs bassins, dont les principaux sont : celui des Apalaches, qui s'étend du nord vers le sud, de l'État de New-York à celui d'Alabama; celui de l'Illinois et d'Indiana; celui du Michigan et celui du Texas.

Le terrain houiller de l'Amérique du Nord se divise en trois étages, correspondant à ceux de l'Europe et identifiés par des fossiles communs; c'est là un des nombreux exemples de l'uniformité de caractères des divers étages des terrains stratifiés dans des régions très-distantes. C'est dans l'étage supérieur, ou groupe houiller proprement dit, que se trouvent toutes les couches de combustible exploitées ou exploitables. Dans la région des Apalaches, cet étage supérieur occupe une surface de 154,800 kilomètres carrés, et s'étend sur une partie des États de Pensylvanie, d'Ohio, de Virginie, du Kentucky oriental, du Tennessee oriental et d'Alabama. L'épaisseur totale de cet étage est de 750 à 900 mètres, et l'épaisseur réunie des diverses couches de combustible exploitées dépasse 30 mètres à Pottsville, 18 mètres à Wilkesbarre et 7 mètres à Pittsburg. Une seule couche, dite mammoth, de $7^{m}62$ de puissance, dont on a exposé un bloc pesant 3,500 kilogrammes, s'étend sur une superficie qu'on évalue à 1,175 kilomètres carrés.

Dans les régions occidentale et centrale, où les couches sont à peu près horizontales, on trouve la houille proprement dite; tandis que, dans la partie orientale, où les couches sont brisées et disloquées, à proximité des Alleghanis, le combustible passe à l'anthracite, notamment en Pensylvanie.

Le bassin houiller de l'Illinois et du Missouri, qui s'étend aussi sur une partie très-considérable des États d'Illinois, d'In-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

diana et de Kentucky et, à l'ouest du Mississipi, sur une partie des États de Iowa, Kansas et Arkansas, occupe une superficie à peu près égale à la précédente. L'épaisseur de l'étage supérieur qui, dans le Missouri, varie de 180 à 300 mètres, atteint 1,000 mètres dans le Kentucky occidental; celle des couches de houille réunies est d'environ 22 mètres. Le bassin du Michigan, situé vers le centre de la péninsule de ce nom, a une surface d'environ 12,900 kilomètres carrés. Ce même étage s'étend, en outre, dans les États du Texas et de Rhode-Island. Le calcaire carbonifère a été retrouvé jusque dans le bassin du Colorado, mais sans qu'on ait observé l'étage qui renferme la houille.

La production des Etats-Unis, en 1864, était évaluée à 16,617,015 tonnes. Parmi les 15 États où cette houille a été exploitée, le principal est la Pensylvanie qui y figure pour 12,691 tonnes. Depuis lors, cette production s'est accrue considérablement, car on l'estime pour 1866 à 26 millions de tonnes. Cependant elle est encore bien loin du développement qu'elle pourrait avoir et qu'elle doit nécessairement acquérir.

Amérique anglaise. — Les autres bassins houillers des Etats-Unis se poursuivent vers le nord dans les possessions anglaises, à Terre-Neuve, dans le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse; ils occupent ensemble environ 46,000 kilomètres carrés. Ce dernier pays présente le terrain houiller sur une épaisseur de plus de 3,600 mètres, dans lesquels se trouvent les puissantes couches de houille qu'on a représentées, sur toute leur épaisseur, dans le parc de l'Exposition.

Dans la baie de Fundy, l'épaisseur totale du groupe supérieur, y compris le mill-stone grit, est de 4,500 mètres; il renferme 76 couches de houille, réparties vers le milieu de la série, sur une hauteur de 860 mètres, et qui, réunies, donnent 12 mètres de charbon exploitable. A Pictou, il y a 6 couches de houille, d'une épaisseur totale de 24 mètres. Deux de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces couches ont respectivement des épaisseurs de 7 mètres et de 11 mètres.

En 1866, il y avait trente exploitations de houille à la Nouvelle-Écosse, la plupart ouvertes tout récemment et donnant une production de 560,680 tonnes.

Amérique boréale. — Le développement du terrain houiller de l'Amérique du Nord pénètre jusque dans les régions arctiques. Au-dessus des terrains siluriens de ces contrées, se trouvent des couches avec coquilles marines, qui caractérisent parfaitement le calcaire carbonifère ; d'autres couches renferment la houille associée, comme d'ordinaire, à des couches de grès, d'argile, et, comme dans beaucoup d'autres contrées, des couches de fer carbonaté argileux et d'hématite brune.

C'est à Parry qu'on doit la découverte de la houille dans ces régions glaciales; les expéditions d'Austin et de Belker ont bien mis en évidence toute son extension, depuis l'île Baring jusque dans le sud de l'île Melville et dans l'île Bathurst. Le combustible de l'île Disco, à l'ouest du Groenland, est tertiaire; mais, à cette exception près, celui qui provient des régions arctiques appartient au terrain houiller et présente parfois des caractères particuliers. Les gisements dont il vient d'être question, situés bien au delà du 70° de latitude, dans des régions complétement glaciales et inhabitées, ne sont pas exploités. Toutefois, l'extension du terrain houiller dans ces parages offre un grand intérêt, d'autant plus que les vestiges végétaux, comme les fossiles animaux, attestent clairement l'uniformité de température qui, à l'époque de la formation de la houille, s'étendait de nos latitudes jusque dans la région polaire arctique.

Californie. — En Californie, notamment dans le comté de Contra Costa, au Monte Diablo, on a découvert des couches de combustible qui, bien qu'appartenant à un terrain relativement récent, se rapproche des véritables houilles : aussi est-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

il activement exploité, de manière à faire concurrence à celui qui arrive d'Angleterre, de New-York, du Chili et de Vancouver. Celui de la Californie est situé sur la limite du terrain crétacé et du terrain tertiaire, et c'est au même gisement qu'appartient celui du territoire de Washington et de Vancouver que l'on exploite en abondance, surtout dans cette dernière localité.

Pendant l'année 1864, la production de la Californie avait été de 65,000 tonnes, et l'importation de charbons étrangers d'environ 100,000 tonnes.

§ 15. — Amérique du Sud.

On ne connaît jusqu'à présent dans l'Amérique méridionale que peu de gîtes de combustible exploitables.

Chili. — Un combustible minéral qui n'est pas de la houille, mais un lignite (1) abondant et de très-bonne qualité est fourni au Chili par le terrain tertiaire de la partie littorale des provinces de Concepcion, Valdivia, Chilöe jusqu'au désert d'Atacama. Ce lignite, qu'on trouve en couches épaisses, à proximité de la mer, est exploité en grande quantité, et l'énorme bloc provenant des mines de Lota donne une idée exacte de la nature de ce produit, l'une des principales branches de l'industrie minérale au Chili. L'extraction de 1865 s'est élevée à 140,000 tonnes et a été produite par plus de 600 mines. La plus grande partie est consommée dans le pays, tant pour la fusion du minerai de cuivre que pour l'usage domestique; on s'en sert également pour la navigation; enfin une partie est exportée jusqu'à de grandes distances, sur le littoral des deux Amériques.

Les couches nombreuses et puissantes que l'on connaît au

(1) Il a à peu près l'aspect du lignite de Fuveau; il renferme environ moitié de son poids de carbone fixe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

détroit de Magellan, notamment près de la pointe Saint-Isidore, paraissent appartenir au même terrain.

Brésil. — On connaît au Brésil des combustibles dans la province de Sainte-Catherine, non loin du littoral. Un autre gisement a été assez récemment découvert dans la partie méridionale de l'empire, dans la province de Saint-Pierre de Rio Grande du Sud, à Candiota principalement, où il en existe, dit-on, de nombreuses couches sur les bords de la rivière Vaccacahy et notamment près du ruisseau des Rats (Arroïo dos Ratos). Ce combustible, qui n'est pas une véritable houille, laisse un résidu de 25 pour 100 de cendres; cependant une compagnie l'exploite, depuis huit ans, pour ses navires, quoique les moyens de transport laissent encore beaucoup à désirer et puissent être considérablement améliorés. D'après une observation récente de M. Agassiz, les couches qu'il constitue pourraient appartenir au terrain carbonifère, et il en serait peut-être ainsi de celui des îles Falkland.

§ 16. — Afrique.

Natal. — On a découvert récemment dans la partie méridionale de l'Afrique, dans la colonie anglaise de Natal, un gisement de combustible d'assez bonne qualité pour que les maréchaux de la colonie l'emploient déjà, et assez abondant pour que l'on projette de construire un chemin de fer qui le relie à un port, distant d'environ 250 kilomètres. On comprend de quelle importance peut être une découverte de ce genre pour le commerce maritime, dans une telle situation géographique.

Madagascar. — De la houille a été signalée sur la côte nord-ouest de Madagascar et examinée par M. Jules Guillemin, qui y a reconnu cinq affleurements d'une houille, parfois de bonne qualité, accompagnée d'empreintes de plantes qui pa-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

raissent caractériser le terrain houiller. Mais les couches observées jusqu'à présent sont minces ; la plus épaisse n'a que 0m80. Toutefois, le fait paraît d'autant plus mériter l'attention que, dans la même région, sur le continent africain, sur les côtes de Mozambique, les Portugais ont aussi, dit-on, découvert du terrain houiller.

§ 17. — Asie.

Inde. — L'Inde anglaise renferme des terrains dans lesquels se trouve un étage de couches renfermant du charbon minéral, lequel s'étend sur plus de la moitié de la distance qui sépare Calcutta de Bombay. Cette bande du Bengale n'occupe pas moins de 5 degrés de latitude. Elle peut se décomposer en 27 groupes ou bassins, parmi lesquels l'un des principaux est celui de Ranigung. Sur 2,500 mètres de couches, il renferme une épaisseur totale de 30 à 40 mètres de combustible exploitable. La disposition de ces différents bassins, aussi bien que la nature de leur charbon, ont été l'objet d'une étude approfondie de la part de M. T. Oldham et du Geological Survey, dont il est le directeur. Ce combustible paraît appartenir, comme on l'a dit plus haut, à une époque postérieure au terrain carbonifère, et qui peut être triasique ou même jurassique.

Tandis que certains charbons, tels que celui de Khasi, sont d'excellente qualité et se rapprochent des houilles anglaises, la plupart sont très-chargés de matières terreuses. On peut admettre, comme une sorte de moyenne, la proportion : carbone fixe, 52,20; matières volatiles, 31,90 ; cendres, 15,50; or, la composition moyenne des bonnes houilles anglaises pourrait être prise comme étant : carbone fixe, 68,10; matières volatiles, 29,20; cendres, 2,70. On peut conclure que les charbons indiens n'ont pas plus des deux tiers, et quelquefois pas plus de la moitié du pouvoir calorifique des meilleures houilles anglaises.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La production totale de houille exploitée au Bengale, sensiblement stationnaire depuis 1859, s'est accrue en 1866 ; elle a été, dans cette année, de 390,500 tonnes. Depuis huit ans, elle forme à peu près les huit neuvièmes de la houille qui y est consommée; un neuvième est importé d'Angleterre. Les chemins de fer absorbent environ près de la moitié de cette production totale. Jusqu'à présent, ce charbon n'a été poursuivi qu'à une faible profondeur; les puits les plus profonds n'atteignent pas 75 mètres, et une bonne partie a été exploitée à ciel ouvert.

Chine. — On peut ajouter que la Chine paraît riche en combustible minéral dans certaines régions de sa vaste étendue. D'après un rapport adressé récemment au gouvernement chinois par M. Pumpelly, à la suite d'une exploration du Si-Shan, il existe, dans cette province, des couches de houille ayant souvent 2 mètres d'épaisseur et d'une qualité égale à celle des meilleurs charbons anglais. Ce combustible consiste souvent en un véritable anthracite, peu pyriteux et ne donnant pas au delà de 4 pour 100 de cendres ; mais avec les moyens d'épuisement qu'emploient les Chinois, les mines ne peuvent dépasser une profondeur de 70 mètres et ne donnent qu'une extraction insignifiante , 850 tonnes par an.

Cependant, les bâtiments à vapeur qui naviguent dans les mers de Chine, consomment de la houille pour une valeur que l'on estime à plus de 25 millions de francs, et dont la plus grande partie provient de l'Angleterre, une certaine quantité du Japon, de l'Australie et de l'Amérique. Il serait facile à la Chine, pour tirer parti de ses grandes ressources en combustible, d'introduire les procédés d'exploitation en usage en Europe, et de créer des voies de transport économiques pour cet objet.

Le calcaire dévonien paraît extrêmement développé en Chine. Il est recouvert par un grand dépôt de grès, schistes et conglomérats, riches en combustible, qui, selon M. Newberry, ne renferment pas de plantes houillères, mais des cy-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cadées et appartiendraient à un terrain plus moderne que le terrain houiller, peut-être au trias. Aux environs de Pékin, où la houille est exploitée, elle est avoisinée, comme dans certains de nos bassins houillers, par des couches de minerai de fer. Malgré sa bonne qualité et son abondance, elle ne fait pas encore concurrence aux houilles anglaises.

Japon. — De la houille de bonne qualité et en abondance est connue du Japon, notamment dans l'île de Ieso, où elle est encore peu exploitée.

Iles Philippines. — L'Espagne présente, dans l'exposition des produits de ses provinces d'outre-mer, des échantillons de combustible, que l'on exploite dans l'île de Cebré. Il s'y montre sur plusieurs points, en couches qui atteignent deux mètres d'épaisseur; il y est l'objet de deux exploitations différentes. Ce produit, qui est de qualité moyenne et que le gouvernement emploie, pour ses navires à vapeur, mélangé à la houille anglaise, coûte, sur la plage de Cebré, 30 francs la tonne.

§ 18. — Australie.

Nouvelle-Galles du Sud. — Des couches puissantes de houille ont été découvertes en Australie, dans la Nouvelle-Galles du Sud, et donnent lieu à une exploitation de plus en plus productive. On ne connaît pas moins de onze couches de houille distinctes, dont certaines atteignent au delà de 9 mètres d'épaisseur. M. W. Keene, explorateur des houillères, au service du gouvernement, a fait figurer à l'Exposition des couches entières qui attestent cette épaisseur, ainsi qu'une collection d'échantillons fort intéressants. Ce gisement de houille a d'autant plus d'importance, que non-seulement il est d'une exploitation facile, mais que, pour le moment, il est unique dans cette vaste région du globe, dont l'Australie forme la terre principale.

La production de la Nouvelle-Galles du Sud, en houille, a été, pendant l'année 1865, de 382,968 tonnes, d'une valeur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de 5,283,000 francs. Elle est destinée à remplacer, au moins dans ces pays, la houille anglaise.

Le groupe de couches de grès et de schiste, auquel les couches de houille sont subordonnées dans la Nouvelle Galles du Sud, reposent en discordance sur les schistes aurifères, et sont considérés par M. Keene comme le vrai terrain carbonifère. Malgré les recherches auxquelles elles ont donné lieu de la part de plusieurs géologues, leur âge n'est pas encore déterminé avec certitude, parce que, tout en présentant des analogies avec les terrains houillers de l'Europe, ils en diffèrent par certains caractères.

Victoria. — Les couches de combustible, reconnues jusqu'à présent dans la province de Victoria, dans un terrain de même nature, n'ont donné que des résultats peu importants.

Tasmanie. — De la houille de bonne qualité se rencontre aussi dans beaucoup de parties de la Tasmanie ou Terre de Van Diemen. Elle est exploitée, tant pour la navigation de cabotage que pour les usages de la capitale, Hobart-Town.

Nouvelle-Zélande.—Il existe, dans la Nouvelle-Zélande, du combustible minéral qui appartient, non au terrain houiller, mais à des terrains plus récents et sur lesquels on commence en ce moment des explorations.

Borneo, *Nouvelle-Calédonie.* — On peut aussi mentionner le lignite de Borneo et de Sumatra, dont le gouvernement des Pays-Bas a exposé des collections intéressantes, recueillies par ses ingénieurs. Des indices de combustible, observés dans la Nouvelle-Calédonie, paraissent avoir peu d'importance, d'après l'exploration récente de M. Garnier.

§ 19. — Observations générales.

D'après ce qui précède, on reconnaît que des combustibles de bonne qualité peuvent se trouver dans les terrains secon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

daires, et que les terrains tertiaires, particulièrement ceux de l'époque moyenne ou miocène, renferment abondamment du lignite. On connaît même cette dernière sorte de combustible dans un plus grand nombre de contrées que le terrain houiller; ce qui s'explique, non-seulement parce que ces accumulations de végétaux se sont formées très-fréquemment pendant une partie de la période tertiaire, mais parce que les terrains les plus récents n'ont pas été recouverts et soustraits à nos investigations, comme les terrains des époques les plus anciennes. Toutefois, les gîtes de combustible sans comparaison les plus importants, aussi bien par leur abondance que par leur qualité, appartiennent au terrain houiller.

Le terrain carbonifère, renfermant de la houille, est réparti d'une manière très-inégale à la surface du globe. Il est remarquable que les bassins de l'Europe les plus considérables sont concentrés entre le 49e et le 56e de latitude, les petits bassins de l'Andalousie étant les plus méridionaux. L'Europe occidentale et la région orientale de l'Amérique du Nord possèdent, entre autres priviléges, celui d'être exceptionnellement bien partagés en houille. Sur de vastes étendues, telles que la totalité de l'Afrique, on ne connaît pas de véritable terrain houiller, sauf quelques indices dont il a été question. D'ailleurs, le terrain carbonifère lui-même est très-inégalement partagé en houille, de telle sorte que l'étendue superficielle sur laquelle il affleure ne peut aucunement donner une idée de sa richesse. Dans beaucoup de régions et sur de vastes étendues, le terrain carbonifère est seulement représenté par son étage inférieur, le calcaire carbonifère qui, en général, ne fournit pas de combustible. C'est ainsi qu'on l'a rencontré d'une part, dans l'Amérique du Sud, où il a été reconnu par Alcide d'Orbigny, dans la Bolivie et dans la province de Santa Cruz; d'autre part, dans l'Himalaya et dans le Pendjab, puis dans l'île de Timor.

Il est bien remarquable de trouver, dans les régions du globe les plus distantes, en Europe de même que dans le nord de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'Asie et dans les parages arctiques, des traits de ressemblance frappants dans les nombreux animaux marins qui caractérisent si sûrement cette époque.

L'accroissement annuel de l'extraction de la houille se manifeste dans les principales contrées qui la produisent, à mesure que les voies de communication et la vapeur se développent et, avec elles, l'industrie qu'elles favorisent.

Les chiffres qui ont été donnés plus haut montrent que l'Angleterre dépasse, par son immense production en houille, celle de tous les pays réunis; que, sous ce rapport, les plus importants de tous les autres pays, d'une part les États-Unis, d'autre part la Prusse, ont une production qui n'est guère que le sixième de celle de l'Angleterre. Dans cette série, la France occupe le quatrième rang. Une telle augmentation a pu inspirer des inquiétudes pour l'avenir, même pour les contrées qui semblent privilégiées, aussi, partout où un terrain houiller est suffisamment connu, cherche-t-on à se rendre compte des ressources qu'il peut offrir, et il est l'objet d'une étude précise.

Parmi les divers procédés qui ont été employés pour faire saisir, à première vue, les résultats statistiques qui se rapportent à l'extraction des substances minérales et à celle de la houille en particulier, celui adopté par la Prusse est particulièrement frappant. Il consiste, comme chacun a pu le remarquer, à représenter la production annuelle de chaque bassin par un cube proportionnel qui, dans le cas particulier, est à l'échelle de $\frac{1}{8,000,000}$. Les huit principaux bassins figurent ainsi, et ils sont rangés suivant leur importance relative et sous les noms suivants : Westphalie, Haute-Silésie, Sarrebruck, Waldenburg, Aix-la-Chapelle, Ibbenburen, Wettin et Lobejun, Minden. Les deux séries de cubes empilés, qui représentent la production en 1855 et en 1865, montrent avec quelle rapidité elle s'est développée dans cette période de dix ans. D'autres représentations graphiques expriment clairement tous les résultats qui se rapportent à la production, à la consom-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mation et à la circulation des combustibles en Prusse, pendant ces dernières années.

Poursuite du terrain houiller sous des terrains plus récents.— Malgré l'ancienneté du terrain houiller, et quoique des dépôts, épais de plusieurs milliers de mètres, se soient formés postérieurement, dans les mers qui couvraient les parties aujourd'hui émergées sous forme de continents, les terrains houillers se montrent souvent au jour, par suite des mouvements qui les ont soustraits au recouvrement des sédiments postérieurs.

Il n'y a guère à espérer aujourd'hui de rencontrer dans les contrées civilisées, au moins, un affleurement de nouveaux bassins houillers de quelque importance. Les découvertes les plus récentes se sont faites, d'une part, en explorant plus profondément et plus complétement les bassins houillers que l'on exploite, et en y trouvant ainsi de nouvelles ressources; d'autre part, en en cherchant le prolongement, lorsqu'ils sont recouverts par des terrains stériles qui s'y sont superposés.

Quelquefois, comme il arrive au bassin de la Loire, le terrain houiller est partout encaissé par des terrains plus anciens et, par conséquent, se montre en entier à découvert. Mais il n'en est pas toujours ainsi; en beaucoup de lieux, on le voit, en effet, plonger et disparaître, dans la profondeur, sous des terrains plus modernes. C'est alors qu'il s'agit de le poursuivre au moyen de sondages ou de puits qui vont l'atteindre.

Le bassin houiller du Pas-de-Calais, en particulier, présente un exemple remarquable des découvertes de ce genre. Un sondage pour la recherche d'eaux jaillissantes, exécuté à Oignies, à 12 kilomètres au nord-ouest de Douai, fit connaître, en 1846, la présence du terrain houiller en ce point, sous les terrains crétacés qui le recouvrent, de même que dans le département du Nord. Bientôt après, des sondages trouvaient le prolongement de la zone houillère, déjà connue depuis la Belgique jusqu'à une petite distance au sud-ouest de Douai. Mais,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

comme l'a fait connaître M. du Souich, cette zone éprouve une déviation brusque vers le nord-ouest; c'est cette déviation même qui avait rendu infructueuses les tentatives qui avaient d'abord été faites, conformément aux prévisions et aux analogies. A la suite de cette heureuse découverte, un champ nouveau s'offrait aux recherches qui se multiplièrent rapidement; elles ont donné lieu, de 1850 à 1854, à l'institution de dix-neuf concessions, mesurant une superficie de 525 kilomètres carrés. Ces diverses mines se succèdent des environs de Douai à ceux de la ville d'Aire, sur une longueur totale de 56 kilomètres; la bande houillère diminue progressivement de largeur vers l'ouest, et sa largeur moyenne ne dépasse pas 8 kilomètres et demi Les puits successivement creusés, au nombre de trente-neuf, avant d'atteindre le terrain houiller, ont dû traverser 100 à 150 mètres de terrains stériles, parfois très-aquifères dans leur partie supérieure et appartenant aux étages tertiaires et crétacés.

L'extraction de la houille dans le département du Pas-de-Calais s'est développée rapidement, surtout depuis 1862, époque à laquelle ces mines se sont trouvées reliées au réseau des chemins de fer et canaux du nord de la France. L'extraction annuelle qui était, à cette époque, de 10,200 tonnes s'est élevée, en 1866, à 16,200; c'est le septième environ de la production totale de la France.

La présence constatée, dans le département de la Moselle, du prolongement du bassin houiller de Sarrebruck sous les couches très-perméables du grès des Vosges, en dehors de la partie qui forme la lisière même de la Prusse, aux environs de Schœnecken, constitue aussi un fait très-important. Cette découverte remonte à 1854, et déjà l'une des exploitations, celle de la Petite-Rosselle, près de Styring, donne lieu à une extraction considérable. Toutefois, ce prolongement du bassin prussien est encore loin d'avoir donné les résultats qu'on est en droit d'en espérer. La présence de nappes aquifères, à la fois abondantes et profondes, dans les couches stériles qui sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

superposées aux couches carbonifères a, jusqu'à présent, apporté un obstacle à leur exploitation. Le succès avec lequel ces niveaux d'eau souterrains ont été récemment traversés, grâce à l'ingénieux procédé de MM. Kind et Chaudron, doit donner l'espoir que l'on parviendra bientôt à atteindre, par d'autres puits, le terrain houiller de la Moselle et à mettre en valeur cette nouvelle source de prospérité.

Parmi les efforts que l'on fait en France pour tirer meilleur parti de certains bassins houillers, on peut citer, malgré sa production très-modeste, le bassin du Reyran, dans le département du Var. Non-seulement la bande étroite et allongée qu'il forme au milieu de terrains plus anciens est explorée avec soin dans toute sa longueur, mais aussi on s'occupe de voir s'il ne se prolonge pas sous le trias, tant aux environs de Fréjus que dans la direction de Toulon. Il est inutile de faire ressortir de quelle valeur serait la découverte d'une extension du terrain houiller dans cette région de la Méditerranée. D'autres bassins de la France, tels que ceux du Gard, de Brassac, de Decize, de Saône-et-Loire et de l'Allier, se prolongent également, dans certaines parties sous des terrains secondaires et tertiaires; ils seront eux-mêmes, dans l'avenir, l'objet de recherches qui conduiront peut-être à la découverte de certaines réserves encore enfouies et inconnues.

Des travaux du genre de ceux que nous venons de citer se sont faits et se poursuivent encore dans divers bassins, notamment en Angleterre et en Allemagne, à mesure que les exploitations se développent.

Les difficultés inhérentes à ces travaux ralentissent nécessairement la marche de pareilles recherches; mais on peut supposer qu'il reste encore de précieuses ressources que, dans l'avenir, des sondages convenablement dirigés sauront atteindre et que des procédés d'exploitation, encore plus puissants que ceux employés aujourd'hui, permettront d'utiliser.

L'existence de vastes dépôts houillers, tels que ceux des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

États-Unis, montrent que ces bassins n'ont pas nécessairement une étendue restreinte et comme littorale.

Etudes topographiques des terrains houillers. — Dans une même région ou dans un même bassin houiller, suivant une expression ordinairement usitée, quoique parfois inexacte, on cherche à connaître rigoureusement les formes et la disposition des couches de houille, leurs inclinaisons générales, leur ploiement, les failles qui les traversent. Puis on suit leur mode de succession, tant sur une même verticale et perpendiculairement aux couches que dans les diverses parties du bassin, afin que les couches déjà connues sur certains points puissent être retrouvées dans leur prolongement. Ainsi, dans ces topographies souterraines, on a principalement en vue une étude géométrique des couches de houille; et l'on recherche une corrélation entre les différentes régions d'un même bassin.

La nature spéciale des diverses couches de houille est aussi indiquée dans toutes ses particularités, afin que chacune des variétés puisse être adaptée à l'usage qui lui convient le mieux. Ainsi, on voit les analyses de la houille provenant de chaque couche, mises en correspondance avec la manière dont cette houille se comporte à la calcination ou en se transformant en coke.

De nombreux dessins représentant des plans et des coupes de terrains houillers exploités, montrent avec quelle attention cette étude topographique est poursuivie dans diverses contrées. Plusieurs bassins houillers de la France présentent des exemples de ces études, parmi lesquelles nous citerons les suivantes :

La carte topographique souterraine du bassin houiller de Valenciennes et du couchant de Mons a été exécutée, à l'échelle de $\frac{1}{25,000}$, par M. Dormoy, ingénieur des mines. Cinq coupes générales, faites dans toute la largeur du bassin qui est de 15 à 20 kilomètres, indiquent en détail comment les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

divers faisceaux de couches de houille exploités dans le pays sont subordonnés les uns aux autres.

Une carte topographique spéciale des *concessions et mines d'Anzin* est présentée par la compagnie.

La carte topographique superficielle et souterraine du bassin houiller du Pas-de-Calais a été exécutée par M. Coince, ingénieur des mines, en utilisant les recherches antérieures de MM. du Souich et Sens. Cette carte, à l'échelle de $\frac{1}{10,000}$, représente les faisceaux de couches dans leurs parties actuellement connues. Les failles rencontrées dans l'exploitation ont donné lieu à une étude spéciale ; elle est accompagnée d'une collection d'échantillons de diverses couches.

L'*Étude des bassins houillers de la Creuse, par M. Gruner, inspecteur général des mines*. Cette description comprend un atlas de planches et un volume de texte, qui est encore à l'état manuscrit. Les planches, au nombre de douze, se composent de deux cartes d'ensemble, à l'échelle de $\frac{1}{10,000}$, et de dix plans et coupes à l'échelle de $\frac{1}{5,000}$.

L'*Étude du bassin houiller de la Loire*, qu'on doit également à M. Gruner, se compose d'une carte d'ensemble, à l'échelle de $\frac{1}{40,000}$, et d'une série de plans et coupes, à l'échelle de $\frac{1}{5,000}$, ainsi que d'un texte, qui n'est pas encore publié.

Topographie de la grande couche de Rive-de-Gier (Loire). Cette topographie, commencée par M. Chatelus, poursuivie et exécutée pour une partie considérable par M. Gruner, a été terminée et complétée par M. Leseure, ingénieur des mines à Rive-de-Gier. L'examen des plans et des coupes attestent un terrain tellement bouleversé, qu'il a paru utile de construire un plan relief de la grande couche, à la même échelle de $\frac{1}{5,000}$, afin de traduire en une image plus sensible les dislocations éprouvées par les couches, et d'éclairer sur la marche à suivre dans la recherche de leur prolongement.

Carte du terrain dévonien du département de la Loire-Inférieure. Cette carte avait pour but de préciser les contours et de rechercher les subdivisions du système des couches

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans lesquelles on exploite l'anthracite, dans le département de la Loire-Inférieure, et de chercher à établir la correspondance des veines de houille de Montrelais et Monzeil avec celles de Chalonnes. Elle est due à M. Lorieux, ingénieur des mines, et à M. Wolski, garde-mines.

La représentation graphique du bassin houiller de Liége forme la première partie de la carte générale des mines de Belgique, qui est exécutée, sur l'ordre du gouvernement, par M. l'ingénieur principal Van-Scherpenzeel-Thim. Dans ce travail important, les couches, dans leurs allures si compliquées, sont représentées clairement par un système nouveau, qui appartient à l'auteur. La coupe du même bassin houiller est relevée sur toute son épaisseur.

Les divers *bassins houillers de la Prusse* ont aussi été l'objet d'une étude approfondie, comme le témoignent les nombreux documents exposés. Le riche bassin houiller de la Westphalie et de la rive droite du Rhin, est figuré sur une grande carte, à l'échelle de $\frac{1}{12,800}$ et en 32 feuilles, qui sera bientôt terminée. Elle représente toutes les couches houillères dans leurs allures, et les couches caractéristiques y sont indiquées avec des couleurs permettant de suivre certains niveaux qui servent de terme de comparaison. Une carte d'assemblage, à l'échelle de $\frac{1}{64,000}$, résume bien la disposition des couches, et des coupes verticales la complètent très-utilement.

Des études analogues et très-détaillées, qui sont également représentées, ont été faites sur le bassin houiller de Sarrebruck, celui de la Silésie et celui de la Wurm.

A part ces études topographiques spéciales, il est juste de mentionner ici les précieuses indications de détail que fournit la carte géologique de l'Angleterre, publiée par le Geological Survey sous la haute direction de sir Roderick Murchison, tant dans ses cartes proprement dites, que dans les sections verticales et horizontales qui l'accompagnent.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III

BITUMES ET HUILES MINÉRALES.

§ 1. — Bitumes.

On peut réunir sous le nom général de bitumes, les composés carburés de nature variée, depuis le *pétrole* jusqu'au *bitume visqueux* ou *malthe*, quelquefois nommé aussi *pissasphalte*, et jusqu'à celui qui est solide à la température ordinaire, et auquel on réserve le nom d'*asphalte*.

Un même gisement présente parfois ces diverses variétés réunies. On conçoit, en effet, que si le pétrole, au lieu de se trouver dans des roches imperméables comme les argiles, imprégnait des roches poreuses comme les calcaires, il ait pu subir des transformations ultérieures, et changer d'état, en donnant naissance à des bitumes glutineux, à de l'asphalte ou, quelquefois, à de l'ozokérite.

Les pétroles de provenances diverses sont employés à des usages variés. On connaît leur emploi pour l'éclairage au moyen de lampes; en outre, les parties les plus volatiles, dites pétroleum, jouent aujourd'hui un rôle important comme dissolvant, et paraissent appelées à remplacer, dans bien des cas, le sulfure de carbone ou la benzine. Ces huiles légères ont aussi été employées pour carburer l'air, qui brûle alors dans les mêmes conditions que le gaz d'éclairage. En outre, les huiles de pétrole renferment des proportions variables de paraffine, et l'importance qu'a prise la fabrication de ce produit, a offert aux huiles minérales un débouché notable. Mentionnons aussi l'usage, déjà ancien, du pétrole pour le graissage; on utilise généralement, à cet effet, les résidus de la fabrication de la paraffine.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Amérique du Nord. — Chacun sait avec quelle abondance extraordinaire le pétrole, à peine connu dans l'Amérique du Nord, il y a peu d'années encore, en 1858, s'est tout à coup révélé. La production s'est accrue depuis lors avec une rapidité surprenante. Pendant l'année 1866, la production de certains jours a atteint 1,500,000 litres.

Pour juger de la rapidité avec laquelle cette production s'est développée, il suffit de jeter un coup d'œil sur le tableau suivant, qui représente les quantités exportées depuis 1862 (1) :

1861.....	5,376,069 litres.
1862.....	48,994,654 —
1863.....	146,729,859 —
1864.....	143,045,779 —
1865.....	135,982,075 —
1866.....	302,338,912 —
Total.....	782,467,348 litres.

Du 1er janvier 1867 au 4 novembre de cette même année, on avait exporté 242,876,453 litres. Le total de l'exportation ayant été, pour la période correspondante de 1866, de 239,453,315, il en résulte que, pendant le même temps, en 1867, l'exportation a subi une augmentation de 3,423,138 litres.

Le chiffre des exportations réunies depuis 1861 jusqu'à novembre 1867, s'élèverait donc à 1,025,343,801 litres. Si, pour tenir compte de la consommation intérieure, on ajoute le chiffre approximatif de 256,335,950 litres, représentant le quart de la quantité exportée, on arrive à une production totale, pour ces sept années, de 1,281,679,751 litres.

Cette quantité énorme de pétrole, qui a joué un si grand rôle industriel, correspond au volume d'un cube dont le côté aurait environ 115 mètres, c'est-à-dire serait égal à la

(1) Je dois les chiffres qui suivent et dont on appréciera l'intérêt, à l'obligeance de M. Foucou, ingénieur civil, que je me fais un plaisir de remercier ici.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

hauteur de la coupole de Saint-Paul de Londres ou du dôme de Milan.

Le poids total de l'huile exportée pendant les sept années, à raison d'une densité moyenne de 0,82 est de 1,040,977 tonnes, c'est à peu près la quantité de houille que l'on a extrait du bassin d'Alais, en 1864, ou le tiers de la production du bassin de Valenciennes et du Pas-de-Calais, pendant une année.

On sait qu'une part de cette immense production est transportée en Europe. En 1866, il est arrivé en Europe environ 280 millions de litres.

La France a reçu au delà de 46 millions de litres, tandis que, en 1865, l'importation, quoique déjà très-considérable, n'atteignait pas la moitié du chiffre de la dernière année. Les ports qui ont reçu ces quantités sont, par ordre d'importance, le Havre et Rouen, Marseille, Saint-Nazaire et Nantes, enfin Bordeaux.

L'importation de l'Angleterre, en 1866, a été d'environ 92 millions de litres, c'est-à-dire double de celle de la France. On remarque aussi, pour l'Angleterre, que l'importation s'est énormément accrue, comparativement à 1865, année pendant laquelle elle a été d'environ 33 millions de litres.

Les autres parties du globe : l'Amérique, l'Australie, l'Afrique et l'Asie, deviennent également tributaires des Etats-Unis.

A raison de son importance, il n'est pas sans intérêt de connaître le mouvement du pétrole américain pendant les années 1865 et 1866 :

	1866.	1865.
Angleterre	92,230,168 litres.	34,498,926 litres.
Russie et Allemagne du Nord (1)	41,779,368 —	22,055,616 —
Hollande	7,491,960 —	2,398,954 —
Belgique (Anvers) (2)	58,495,419 —	25,073,244 —

(1) Quantité correspondante aux ports de Cronstadt, Hambourg, Brême, etc.
(2) Une partie de ce qui arrive au port d'Anvers est dirigée sur la France et sur l'Allemagne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

France...	46,093,392	— litres	20,704,751	litres.
Portugal	1,436,773	—	1,047,024	—
Espagne	3,637.652	—	1,251,649	—
Gibraltar	10,763,536	—	2,880,441	—
Italie	10,497,123	—	6,893,666	—
Allemagne du Sud (Trieste)	504,630	—	298,669	—
Turquie	436.625	—	379,330	—
Afrique	728,221	—	215,235	—
Chine et Indes orientales	851,023	—	352,710	—
Australie	6,297,255	—	5,325,984	—
Nouvelle-Zélande	283,860	—	156,960	—
Amérique du Sud	8,947,737	—	5,062,792	—
Amérique du Nord	3,840,452	—	2,500,879	—
Indes occidentales	8,086,558	—	5,044,243	—

Les différences si grandes qu'on remarque entre la production des années 1865 et 1866, résultent de la cessation de la guerre.

Cette immense exportation, qui se fait principalement par les ports de Philadelphie et de New-York, a formé, en 1866, le chargement de 731 navires.

Le pétrole, primitivement expédié à l'état brut, est maintenant raffiné, pour la plus grande partie, aux États-Unis ; c'est en ce dernier état que, dès 1862, les quatre cinquièmes environ de la production ont été expédiés.

Au 1er novembre 1867, l'approvisionnement, dans Oil-Creek, était évalué à 655,000 barils, soit, en nombre rond, 98 millions de litres, répartis dans les réservoirs de fer, les réservoirs de bois, les « bulk boats » ou bateaux faisant l'office de réservoirs flottants, enfin dans les mains des raffineurs et des spéculateurs. La capacité totale des seuls réservoirs de fer est de 717,000 barils, soit de 107 millions et demi de litres.

Les trois centres principaux de production sont : la Pensylvanie occidentale (Venango County, dans lequel se trouvent Oil-Creek, Titusville et d'autres centres bien connus), la Virginie occidentale ou West Virginia et le Canada occidental (Enniskillen). Cependant d'autres régions des États-Unis fournissent également du pétrole.

C'est le premier de ces centres, celui de Venango County,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en Pensylvanie, qui, à raison de sa richesse et des moyens de transport dont il dispose, fournit la presque totalité de ce qui arrive en Europe.

En ce moment, c'est-à-dire à la date du 12 novembre 1867, la production journalière, au centre de la grande région d'huile de Pensylvanie, dans « Oil-Creek », est de 9,500 barils (1) ou de 1,425,000 litres. Elle a augmenté de 225,000 litres par jour, dans ces deux derniers mois.

Cet accroissement a été causé par la hausse des prix survenue en juillet, août et septembre derniers.

Il n'a été rencontré dans ces derniers temps que deux veines donnant plus de 30,000 litres par jour. La moyenne du rendement de la plupart des puits est un peu moins de 7,500 litres par jour.

Il y a actuellement, en cours de forage, environ 255 puits. Il est difficile de donner un chiffre exact pour le nombre des puits actuellement en opération.

Le tableau suivant fait connaître le prix moyen du pétrole, à New-York, pendant les quatre dernières années :

	Brut.	Raffiné.
1863.	28 cents 1/2 le gallon (moyenne)	44 cents 1/8 do do
	Taux moyen de l'or 145.	
	Dollar en or 5f 25 en banque.	
	Pétrole 0f 23c le litre.....	0f 35c le litre.
1864.		
	Or à 204.	
	Pétrole à 0f 24.....	0f 37 —
1865.		
	Or à 157 1/4.	
	Pétrole à 0f 29.....	0f 44 —
1866.		
	Or à 140 7/8.	
	Pétrole à 0f 21 1/2.....	0f 35 —

On peut ajouter qu'en 1867 les prix paraissent devoir être inférieurs à ceux de 1866.

(1) Un baril vaut 33 gallons 54, soit, à très-peu près, 150 litres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les roches dans lesquelles des milliers de puits sont forés pour chercher le pétrole, appartiennent aux terrains stratifiés, et constituent, par conséquent, des couches. Contrairement à ce qui arrive pour beaucoup de substances minérales, telles que la houille, qui sont restreintes à certains étages bien déterminés, et ordinairement uniques et en très-petit nombre dans une même contrée, les couches qui fournissent l'huile minérale appartiennent à plusieurs étages très-différents de la série. A raison de l'extrême importance industrielle du produit et de l'intérêt théorique qui se rattache à sa formation, il est intéressant de connaître les principaux caractères de son gisement.

Dans le Kentucky et le Tennessee, le pétrole est fourni par les couches siluriennes inférieures, c'est-à-dire les roches stratifiées les plus anciennes (calcaire de Trenton et schiste d'Utica). Un seul puits du Kentucky, percé dans ces conditions, a débité environ 7,500,000 litres.

Un autre niveau très-productif, celui du Canada occidental, appartient au terrain dévonien inférieur. C'est au même terrain dévonien, mais à son étage supérieur (Chemung et Portage) qu'appartiennent les couches les plus riches, celles de la Pensylvanie occidentale du groupe si important de Oil-Creek. A un niveau encore plus élevé, et à divers étages du terrain carbonifère, se trouvent des sources très-abondantes. Les plus importantes de la Virginie occidentale appartiennent au terrain carbonifère supérieur.

En résumé, dans l'Amérique du Nord, les couches oléifères actuellement les plus productives, appartiennent aux étages géologiques les plus anciens, aux terrains silurien, dévonien et carbonifère.

Dans certaines couches calcaires de ces terrains, le pétrole remplit les cavités qui se trouvent à l'intérieur de fossiles, tels que orthocères, brachiopodes et coraux ; il imprègne aussi certaines parties poreuses de la roche. Ces parties oléifères sont souvent entourées de calcaire compacte et sans trace de pétrole.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Toutefois, cette région du globe renferme aussi du pétrole en certaine quantité, dans les terrains moins anciens. Ainsi, dans la Caroline septentrionale et le Connecticut, on en a trouvé de petites quantités dans le trias. Le Colorado et l'Utah en présentent à proximité des lignites du terrain crétacé. Enfin, les pétroles de Californie appartiennent au terrain tertiaire, mais, dans cette dernière contrée, on n'a pas encore réussi à l'exploiter, à cause du faible rendement des gîtes connus.

Ce n'est pas irrégulièrement, au milieu des vastes étendues qu'occupent ces différents terrains, que les puits forés sont productifs. Les couches qu'ils percent paraissent devoir satisfaire, de même quand il s'agit de nappes d'eau, à certaines conditions spéciales, que l'expérience a commencé à faire connaître.

Au Canada comme aux États-Unis, les sources de pétrole les plus riches sont dans les parties où les couches sont ployées, et sur les axes anticlinaux. Dans ces parties, où les couches ont été brisées, il s'est formé des cavités, des crevasses et des failles, qui servent de collecteurs naturels, dans lesquels l'huile minérale s'est rassemblée en abondance, en même temps que l'eau salée et le gaz hydrogène carboné, dont elle est généralement accompagnée. Dans le cas où le pétrole jaillit par ces surfaces anticlinales dont nous parlons, on remarque qu'une couche d'argile le recouvre comme un toit de manière à l'empêcher de s'échapper avant le moment où la sonde vient percer l'enveloppe argileuse. Dans le réservoir qui renferme à la fois l'eau salée, le pétrole et le gaz, quelles que soient sa forme et sa disposition, verticale ou inclinée, ces trois substances sont nécessairement disposées suivant leur ordre de densité. Selon la partie que la sonde vient frapper, ces trois substances se présentent successivement ou simultanément, et dans des circonstances différentes. L'élasticité du gaz hydrogène carboné explique la sortie impétueuse et spontanée du pétrole, des puits récemment ou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

verts, d'où il jaillit, souvent en volume considérable, à des hauteurs de plusieurs mètres.

Dans la Pensylvanie occidentale, principal centre d'exploitation, et où les puits les plus abondants sont disposés en quatre groupes, on a remarqué que la quantité de pétrole est proportionnelle à la profondeur atteinte par le forage. Les plus productifs sont à la profondeur de 180 à 200 mètres. La qualité elle-même paraît être aussi en rapport avec la profondeur des puits; les huiles légères viennent des plus grandes profondeurs. On conçoit que, dans le voisinage de la surface, les réservoirs d'huile aient pu s'oxyder et s'épaissir. La plupart des huiles de West Virginia, qui sortent du terrain houiller, sont lourdes et servent principalement pour le graissage des machines. C'est ce qu'on observe clairement dans les puits exécutés dans la région sud-ouest du Canada, dans les dépôts quaternaires qui recouvrent le terrain dévonien, sur des épaisseurs de 15 à 60 mètres. A la base de ces argiles quaternaires, on trouve souvent des couches de gravier saturé de pétrole; mais ces dernières, bien qu'assez productives, sont bientôt épuisées. On distingue l'huile fournie par ces couches de l'*huile de roche*, c'est-à-dire de celle qui provient de son gisement originel, et on lui donne le nom d'*huile de surface* (*surface oil*). Cette huile de surface, devenue plus dense et plus visqueuse, est recherchée comme huile lubrifiante.

Dans certains cas, la qualité de l'huile est aussi influencée par la présence du soufre qui lui communique une odeur très-forte, même à l'état naturel, et qui nécessite deux distillations, avant qu'on puisse l'employer pour la combustion. C'est ce qu'on voit pour les huiles du Canada occidental, où le pétrole paraît associé à des couches qui renferment du soufre, et à des sources sulfureuses.

Des échantillons qui présentent les diverses variétés des pétroles exploités tant aux États-Unis qu'au Canada, sont exposés, avec l'indication de leur provenance.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Certains puits de la Pensylvanie ont donné, par jour, 220,000 litres, et jusqu'à 600,000 litres. Par exemple, les puits connus sous le nom de Empire Well, Noble Well et Tarr Farm, ont donné dans l'origine, les deux premiers, 300,000 litres par jour, et le dernier, 450,000 litres. Ce rendement, après avoir duré quelques semaines, a diminué progressivement. Cependant, à la fin de 1866, c'est-à-dire deux ans après avoir été ouvert, le Tarr Farm donnait encore, par jour, 45,000 litres.

Les forages pour huiles se font très-souvent à la corde, mais aussi avec des tiges de bois. L'outillage permet de forer en trois mois, pour une somme de 10 à 12,000 francs, des trous de sonde de 8 à 10 centimètres de diamètre et de 200 mètres de profondeur.

Autrefois l'huile sortait avec le gaz. Les puits actuels sont presque tous des puits à pompe « *pumping wells.* » Les Américains de Oil-Creek renoncent de plus en plus à chercher des puits jaillissants « *flowing wells.* » A cela il y a deux raisons : 1° à l'origine, les gaz inflammables et l'huile qui s'échappaient ensemble par le même orifice, donnaient lieu à des conflagrations désastreuses ; les exploitants furent amenés à faire sortir les gaz par un tuyau et l'huile par un autre. A cet effet, ils observèrent que les gaz s'échappaient de fissures situées sensiblement au même niveau, c'est-à-dire à la seconde assise de la formation de grès dévonien. Comme l'expérience leur avait déjà appris qu'il ne fallait pas compter sur des réservoirs très-abondants en huile parmi les fissures de la première et de la seconde assise de ce grès, ils tubèrent leurs puits pour traverser les deux assises et descendre dans la troisième, qui leur fournissait des approvisionnements immenses. Mais, en faisant ce tubage, ils ménagèrent un petit conduit de près de 2 centimètres de diamètre pour conduire le gaz de la seconde assise dans l'atmosphère. On emploie à cet effet le « *seed bag* » (sac à graine) sorte de long fourreau de cuir, bourré de graine de lin ; par sa dila-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tation au contact de l'eau ou de l'huile, cet appareil produit une fermeture hermétique. Un autre conduit de plus grand diamètre fut chargé d'amener l'huile à la troisième assise, généralement située entre 180 et 240 mètres de profondeur, suivant les localités.

2° Comme conséquence de cette innovation, non-seulement les conflagrations devinrent très-rares mais encore le gaz fut utilisé à chauffer les chaudières. Certains producteurs eurent même assez de gaz pour chauffer leurs propres chaudières et en vendre à leurs voisins, en train de forer de nouveaux puits, pour faire marcher les appareils de sondage. La vente de la quantité de gaz nécessaire pour chauffer une chaudière pendant vingt-quatre heures se fait généralement sur le prix de 5 à 6 dollars (en papier, soit de 20 à 24 francs quand l'or est à 140). Il y a encore économie pour le consommateur, car le charbon et le bois coûtent fort cher à cause de la difficulté des transports à travers les ravins de « Oil-Creek ».

Le transport des huiles a donné lieu, en 1866, à un véritable progrès. Au lieu de barils, toujours difficiles à charrier au milieu des bois et des montagnes, on tend à employer des tubes en fer posés sur des chevalets et mesurant, dans des localités, jusqu'à 10 et 12 kilomètres de longueur. En Virginie, une machine de 24 chevaux-vapeur refoule à une distance de 6 kilomètres environ, 80 barils d'huile légère par heure. La même machine ne refoule que 20 barils d'huile lourde ou *lubricating oil*. Le prix de ce mode de transport est de 2 fr. à 2 francs 50 c. par baril, tandis qu'il coûtait autrefois 5 et 6 francs, alors qu'on ne pouvait guère placer sur un même véhicule attelé de deux chevaux, plus de trois barils à la fois. Un autre avantage de cette innovation a été de drainer la partie grossière de la population de ces régions à pétrole, celle des charretiers et palefreniers, qui sont allés chercher ailleurs du travail. Aujourd'hui l'on vit très-paisible dans ces régions et tout aussi en sécurité que dans nos grandes villes d'Europe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il arrive un moment où la proportion d'eau qui accompagne le pétrole, devient de plus en plus prédominante, et où le puits doit être abandonné par suite de la rareté de l'huile.

C'est alors que peut intervenir avec avantage le *torpedo* du colonel Roberts qui, par l'explosion produite au fond du puits, ouvre de nouvelles fissures, et provoque souvent la réapparition du pétrole. C'est un cylindre en fer très-épais et à compartiments, chargé avec de la poudre et de la nitroglycérine. On descend l'appareil avec une corde au fond du puits et on fait tomber le long de la corde raidie un poids qui fait éclater une capsule enfermée à la partie supérieure du torpedo. La production d'huile, surtout en Virginie, a été considérablement augmentée par ce procédé. Le colonel Roberts se propose de construire des torpedos de 30 mètres de longueur et plus.

Parfois un forage, entrepris à quelques mètres d'un puits stérile ou épuisé, produit une source abondante de pétrole, comme si les réservoirs correspondaient à des fissures verticales.

Comme la loi ne trace aucune servitude de voisinage aux exploitants, des puits sont quelquefois forés sur deux propriétés contiguës, et seulement à quelques mètres l'un de l'autre. Le plus célèbre exemple de cette concurrence a été fourni au puits de Tarr Farm. Lorsqu'on eut percé ce puits qui donna, pendant plusieurs semaines, un flot de plusieurs milliers de barils par jour, les propriétaires vendirent les terrains du voisinage à des prix fabuleux. Quelques mois après, l'un des acheteurs rencontrait, au même niveau, et à moins de 50 mètres du fameux puits, un autre réservoir jaillissant, qui lança les outils à 30 mètres de hauteur, et inonda le sol d'eau salée et d'huile, pendant plusieurs semaines; seulementil en résulta une diminution très-notable dans le rendement du premier puits. Pendant quelque temps, les deux propriétaires se firent la guerre; quand le second puits s'arrêtait, le premier reprenait comme auparavant, et, réciproquement, si l'on arrêtait le premier, le second donnait de l'huile

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en abondance, mêlée à l'eau salée. Mais bientôt les deux propriétaires s'entendirent pour partager les produits fournis par les deux réservoirs ensemble.

Des compagnies, au nombre de plus de 380, et dont beaucoup sont organisées avec un capital considérable, qui est souvent de 5 à 10 millions de francs, et qui va jusqu'à 20 et 25 et même 60 millions, exploitent le pétrole, à l'aide de puits forés à la corde. Quoique beaucoup d'entre elles ne soient pas en bénéfice, l'ardeur générale ne s'en trouve pas ralentie, et la production croît avec la rapidité que l'on a signalée plus haut.

On sait, d'ailleurs, que des expériences se poursuivent activement, tant en Amérique qu'en Angleterre, pour employer le pétrole sous les chaudières des appareils à vapeur.

Comme les puits les plus abondants finissent par se réduire et s'épuiser, on pourrait croire que les réservoirs de pétrole qui donnent, en ce moment, une si énorme production, ne tarderont pas à s'épuiser. Mais il faut remarquer que, les étages oléifères se prolongent, dans cet immense territoire de l'Amérique du Nord, sur plusieurs centaines de milliers de kilomètres. On peut donc supposer que le pétrole se trouve accumulé, encore pour un long avenir, dans cette région, déjà si exceptionnellement dotée en houille.

France. — On sait que le bitume est souvent mélangé au calcaire, d'une manière telle qu'on ne l'en isole pas pour les besoins de l'industrie; le calcaire est alors employé, sous le nom de *calcaire asphaltique*, dans la fabrication des mastics. C'est ainsi qu'on l'exploite en France, aux environs de Seyssel, dans le département de l'Ain, où certaines couches calcaires appartenant à l'étage du terrain crétacé, connu sous le nom de néocomien, en sont partiellement imprégnées; l'imprégnation s'est étendue jusque dans les couches tertiaires qui recouvrent ces dernières. Des couches tout à fait semblables se trouvent dans le département de la Haute-Sa-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voie, mais ces dernières n'ont été, jusqu'à présent, que peu exploitées.

Le calcaire exploité à Lobsann (Bas-Rhin), bien que ressemblant beaucoup au calcaire dont il vient d'être question, appartient à un autre gisement, au terrain tertiaire moyen. Tout à proximité, le même étage renferme des couches de sable imprégnées de pétrole, que l'on exploite depuis plus d'un siècle à Bechelbronn. Sur l'indice d'une source chargée de pétrole, on a foncé un puits et des galeries qui servent à l'exploitation du sable imprégné de bitume. C'est donc une des localités, en très-petit nombre, où le développement des travaux souterrains permet de voir, dans toutes leurs particularités, les allures des gîtes oléifères. Le sable ne rend en moyenne que 4,6 pour 100 et ne produit annuellement que 70 à 80 tonnes de bitume. La même substance, à l'état plus liquide encore, a été rencontrée à Schawabwiller, à 6 kilomètres de Bechelbronn.

La formation tertiaire de la Limagne d'Auvergne (Puy-de-Dôme) est intéressante par divers gîtes bitumineux qui, pour la plupart, sont associés à des brèches d'origine éruptive et constituent l'un des produits de l'activité volcanique pendant la période tertiaire. Des calcaires et des marnes imprégnés de bitume ont été exploités près de Dallet et de Pont-du-Château; mais, aujourd'hui, le grès à ciment de bitume, ou molasse, a plus d'importance, parce qu'on peut en extraire le brai par des lessivages à l'eau chaude. C'est ce qu'on fait à Lussat. Des expériences ont été faites dans le but d'extraire le brai, en se servant, comme dissolvant, du sulfure de carbone, qu'on isolerait de nouveau par une distillation à basse température.

Des gisements de bitume existent encore dans d'autres parties de la France, telles que le département des Basses-Alpes aux environs de Manosque; le département du Gard, aux environs d'Alais; les Landes, près de Bastennes; les Basses-Pyrénées. Ces divers gisements, quoique non exploités, présen-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tent un intérêt théorique, par leur analogie avec d'autres gisements plus considérables.

Espagne. — Une exploitation considérable de calcaire asphaltique, qui se fait à Maestu, province d'Alava, non loin de Victoria en Espagne, est également représentée à l'Exposition. Le calcaire rend en moyenne 12 à 14 pour 100 et se trouve dans le terrain crétacé. Le terrain crétacé fournit aussi du calcaire asphaltique à Burgos et à Santander.

Portugal. — Le Portugal envoie également des échantillons de grès bitumineux qui, avec des richesses très-variables, ont un grand développement dans le district de Leiria. Le seul gîte bitumineux qui soit en ce moment en exploitation est celui de Granja, près de Monte-Real. On y a trouvé quatre couches, dans une position presque verticale, avec des épaisseurs variables entre $0^m 30$ et $2^m 40$, où les concentrations de bitume sont quelquefois considérables. Ces couches alternent avec des argiles et des marnes ; elles forment la base d'une série sédimentaire assez étendue, caractérisée par la présence de fossiles d'eau douce et qui paraît représenter, dans cette région, l'étage inférieur du terrain crétacé, connu sous le nom de Wealdien.

Italie. — En Italie, où, depuis longtemps, on connaisssait des sources de pétrole et des jets d'hydrogène carboné, des études géologiques intéressantes, dues à M. Bianconi et à l'abbé Stoppani, ont été faites sur les deux régions principales qui, à part la Sicile, présentent du bitume : l'Abruzze citérieure, aux environs de Tocco et de Pescara, et l'Émilie, aux environs de Plaisance, de Parme et de Modène ; mais ces gisements, remarquables au point de vue théorique, ont été peu productifs, du moins jusqu'à ce jour.

Ainsi, sur l'un des trois dépôts de l'arrondissement de Chieti (Abruzze citérieure), on a foré un puits de 60 mètres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de profondeur qui, en 1865, a donné 180 tonnes d'un pétrole très-pur, d'une valeur de 36,000 francs et 50 tonnes de bitume, d'une valeur de 7,000 francs.

Dans l'Émilie, les puits de pétrole se réduisent à 19, de 28 qu'ils étaient en 1862, et leur rendement journalier est pour ainsi dire nul (26 kilogrammes par jour). On tente en ce moment d'exploiter le pétrole sur deux points.

Il est une troisième localité où une Compagnie vient d'être établie; c'est aux environs de Voghera, où cinq puits ont été forés, sur une profondeur de 30 à 60 mètres, et où un autre va être foré, jusqu'à la profondeur de 300 mètres.

Dans ces diverses régions de l'Italie, le pétrole paraît se trouver constamment dans les mêmes conditions géologiques et appartenir au terrain tertiaire de l'étage moyen ou miocène. Comme il arrive dans d'autres contrées, il est souvent associé au gypse, au soufre, au sel gemme, ainsi qu'à du lignite et accompagné de jets d'hydrogène carboné. L'association du pétrole au soufre se reconnaît clairement, même sur de petits échantillons que présente l'Exposition, et dont l'un provient des environs d'Urbino.

Hanovre. — Dans le Hanovre, on a extrait du pétrole et de l'asphalte, particulièrement aux environs de Bentheim, Hanovre et Peine, où il appartient généralement aux couches du terrain néocomien, et parfois, au terrain jurassique; sur quelques points, il sort du diluvium.

Autriche : Galicie. — La partie de la Galicie qui borde, vers le nord, la chaîne des Karpathes, renferme une série de gîtes de pétrole, qui s'étendent dans la région orientale de cette province et en Bukowine.

Les localités dans lesquelles on a découvert le pétrole, constituent une zone qui, mesurée parallèlement à la chaîne, a une longueur d'environ 250 kilomètres. Dans cette étendue, on a ouvert, depuis 1858, un certain nombre d'exploitations

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

régulières. D'autres, en très-grand nombre et situées surtout dans la partie orientale, consistent seulement en orifices peu profonds, que creusent les paysans. Il n'y a pas moins de 5,000 de ces petits bassins, répartis dans une douzaine de localités des environs de Boryslaw.

La variété intéressante, connue sous le nom d'ozokérite, a été trouvée avec une abondance remarquable, dans plusieurs mines de la Galicie, particulièrement près de Mœhrisch-Œstrau, où on l'exploite, surtout depuis trois ans, pour la fabrication de la paraffine, ainsi qu'en Roumanie L'exposition autrichienne présente de beaux échantillons de cette substance.

La production en pétrole de la Galicie s'est rapidement accrue dans ces dernières années. En 1866, elle a atteint 15,000 tonnes. D'après une enquête récente de la Chambre de commerce de Vienne, la production pour la Galicie orientale, s'élevait à : 9,107 tonnes de pétrole et 2,520 d'ozokérite (Erdwachs). Ces matières sont raffinées et distillées dans 36 établissements, et fournissent des huiles à brûler et à graisser, en même temps que de la paraffine qui a donné 10,150 kilogrammes de bougies.

Le pétrole de la Galicie se trouve dans les terrains tertiaires (1). Ces gîtes sont disposés sur une ligne de fractures parallèles aux Karpathes et, dans quelques points, en relation avec des sources thermales. Ils sont aussi associés à du sel gemme.

Croatie et Dalmatie. — Comme exploitations de bitume de provinces autrichiennes, également représentées à l'Exposition, il convient de signaler les gîtes de la Croatie, situés aux environs de Moslawina, et qui paraissent se rattacher à ceux que l'on connaît également en Albanie, à Avlona et en Dalmatie.

(1) D'après M. de Hochstetter, ils appartiendraient à l'étage inférieur, dans la partie occidentale, et à l'étage moyen ou miocène, dans la région orientale.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Principautés Danubiennes. — Les dispositions géologiques de la Galicie se retrouvent dans les Principautés Danubiennes, qui forment comme leur continuation, à travers la Bukowine.

La position heureuse de la Valachie, par rapport au Danube, lui a permis de diriger sur Marseille une partie de ses pétroles ; et si la Moldavie, moins favorisée, n'a pu emprunter le fleuve pour écouler ses produits, le voisinage des possessions autrichiennes lui a donné la possibilité de faire franchir les Karpathes à ses pétroles bruts et raffinés, et d'alimenter Cronstadt, ainsi que les centres de population les plus importants de la Transylvanie.

Dans les Principautés Danubiennes, le pétrole, ainsi que le sel gemme qu'on y trouve en quelques points, appartient également au terrain tertiaire. D'après l'étude récente qu'en a faite M. Coquand, ces deux substances paraissent y occuper deux niveaux distincts : l'un, à la partie supérieure de l'étage dit éocène, contemporain à la fois des gypses de Montmartre, du sel, du gypse et du soufre de la Sicile, des sels gemmes des hauts plateaux de l'Algérie (Outaia, Milah, etc.), est représenté en Moldavie par le sel gemme exploité à Okna et qui fournit les belles masses exposées, ainsi que par les exploitations de pétrole de Moniezti et de Teskani ; l'autre, appartenant à un niveau plus élevé, au terrain tertiaire moyen ou miocène, correspond au gypse et au sel gemme de Volterra, en Toscane, et de la province de Saragosse. Ce niveau supérieur est principalement représenté en Valachie, et renferme également des lignites et du succin, dont de nombreux échantillons figurent à l'Exposition.

Ainsi, les gîtes bitumineux des provinces Danubiennes, de même que ceux de la Galicie, qui comptent parmi les principaux de l'Europe, bordent la chaîne des Karpathes.

On remarque que, sur cent puits forés pour recueillir le pétrole, la moitié à peine rencontre cette substance ; ce qui montre que les zones oléifères sont très-étroites et séparées par des terrains stériles. Les puits ne sont séparés les uns des autres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que par un intervalle de 20 mètres, et seraient plus rapprochés encore, si les règlements n'imposaient pas cette distance; il est indispensable d'en agir ainsi, pour drainer tout le pétrole, car les argiles qui le renferment ne lui permettent pas de se mouvoir facilement. En général, on considère comme excellent un puits qui donne 500 litres par jour, pendant la première année. Au-dessous de 350 litres, le puits est considéré comme médiocre.

On ne connaît aucun exemple de pétrole jaillissant des puits, comme aux États-Unis; dans les Karpathes, il suinte tranquillement des parois. La pauvreté en pétrole des terrains de la Moldavie et de la Valachie, ne permet pas d'exploiter au moyen de la sonde: on pratique un puits circulaire d'un mètre de diamètre. Quand le pic a entamé les couches à pétrole, le dégagement du gaz hydrogène carboné est quelquefois assez abondant, pour causer l'asphyxie de l'ouvrier qui travaille au fond du puits.

La quantité de pétrole produite par la Moldavie et la Valachie réunies, a été d'environ 9,000 tonnes, pour l'année 1866, par suite des tentatives qui ont été faites par divers exploitants anglais et français, et qui paraissent n'avoir pas été couronnées de succès. Il est arrivé à Marseille 2,712 tonnes de ce pétrole brut, en même temps que 355 tonnes de Circassie et 8,200 tonnes d'Amérique.

La baisse considérable que les pétroles ont subie par suite des arrivages de l'Amérique du Nord, permettra difficilement à un pays sans routes et sans administration, comme les Principautés, dans l'état actuel, de soutenir cette rude concurrence; car les frais de transport et d'enfutaillement y représentent déjà une somme égale ou supérieure au prix des pétroles américains qui, en outre, sont de meilleure qualité.

Empire russe. — La région qui entoure le Caucase est encore plus privilégiée par l'abondance du pétrole, et paraît constituer la principale zone pétrolifère de l'Europe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La Russie envoie une collection des environs de Bakou et de la presqu'île d'Apschéron, localité plus remarquable encore par l'abondance du pétrole que par les feux éternels ou sacrés, qui l'ont depuis longtemps rendue célèbre.

Le pétrole est renfermé dans les terrains tertiaires, qui bordent l'extrémité orientale du Caucase et forment le littoral occidental de la mer Caspienne, aux environs de Bakou et dans la presqu'île d'Apschéron.

On l'exploite au moyen de puits, dans lesquels il continue à suinter depuis des temps reculés. Le plus abondant des 85 puits actuellement en exploitation, fournit par jour plus de 2,000 litres, et cela, depuis un temps très-long, sans qu'on remarque de diminution notable dans le rendement. Il importe de l'extraire chaque jour; car, si on laisse quelques jours seulement le puits abandonné à lui-même, le niveau y reste stationnaire. En outre, on trouve, à la surface même du sol, un revêtement formé de bitume à peu près solide ou ozokérite, que l'on exploite également, particulièrement pour la fabrication de la paraffine. Ces dépôts superficiels, qui ont la forme de coulées, partant de certains orifices et s'étendant sur plusieurs centaines de mètres, avec des épaisseurs de 2 à 3 mètres, paraissent provenir de l'oxydation et de la transformation du pétrole qui s'est épanché anciennement.

On exploite également le bitume, mais en moindre quantité, sur le littoral occidental de la mer Caspienne, tant au nord qu'au sud et à l'ouest de Bakou, et jusqu'à des distances de 130 et 150 kilomètres de ce centre principal.

Les nombreuses sources thermales qui jaillissent dans la même région prouvent, en même temps que d'autres phénomènes, que l'activité volcanique n'y est pas éteinte.

La production de cette région, comprenant les districts d'Apschéron, de Lenkoran et de Derbent, peut être évaluée à :

Naphte blanc.....	32,000	kilogrammes.
Naphte noir	8,636,000	—
	8,668,000	kilogrammes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La moitié environ de cette quantité est employée dans ce voisinage ou est expédiée sur Astrakan ; l'autre moitié est dirigée sur la Perse.

Une Compagnie a établi, en 1857, une fabrique de photogène, à 14 kilomètres de Bakou, et en 1860, une autre Compagnie a établi à la pointe de la presqu'île d'Apschéron, dans l'île de Swjetoy, une fabrique de paraffine, où l'on traite surtout l'ozokérite.

On connait depuis longtemps les volcans boueux, et les dégagements de gaz hydrogène carboné, accompagnés d'une certaine proportion de pétrole, qui sont situés à l'extrémité occidentale de la chaîne du Caucase, des deux côtés du Bosphore Cimmérien, d'une part, en Crimée, dans la presqu'île de Kertch, d'autre part, dans la presqu'île de Taman. Ils forment la contre-partie, en quelque sorte symétrique, des abondants gisements de pétrole, qui se trouvent à l'extrémité orientale de cette grande fracture, et à environ 1,000 kilomètres de distance.

Dans la presqu'île de Kertch, où les Tatars recueillaïent, depuis un temps immémorial, du pétrole, principalement pour graisser leurs voitures et pour l'éclairage, une Compagnie américaine s'est établie, en 1863, pour l'exploiter au moyen de puits. Après avoir foré des puits jusqu'à 160 mètres, on a reconnu que la plus grande quantité se trouve à une profondeur moindre c'est-à-dire seulement de 8 à 20 mètres.

Plus récemment encore, l'attention s'est portée sur les indices de pétrole que l'on connaissait depuis longtemps de l'autre côté du Bosphore, dans la presqu'île de Taman et dans le bassin du Kouban, dans une partie qui n'a été définitivement conquise qu'en 1863 et 1864. On s'est empressé de faire des recherches actives, commencées par M. le colonel Novosylzeff et habilement continuées par M. le capitaine du corps des mines, de Koschkull, à l'obligeance duquel je dois une partie de ces détails, ainsi qu'à M. Abich, qui a récemment visité la localité.

Dans cette région, les sources naturelles et indices de pétrole constituent quatre groupes, dont les extrêmes sont distants de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

170 kilomètres : ces groupes, situés au pied du Caucase, sont disposés suivant une ligne droite, exactement parallèle à l'axe de la chaîne du Caucase dans la partie voisine. Cette longue zone, en même temps jalonnée par de nombreuses sources thermales, a 6 à 7 kilomètres de largeur.

Un puits foncé à 12 kilomètres de la forteresse de Krysmskoyé, a atteint successivement quatre nappes de pétrole, à des profondeurs de 16, 40, 60 et 80 mètres. Ces diverses nappes, jaillissant d'abord, par l'impulsion du gaz, de même qu'aux États-Unis, jusqu'à une hauteur de 16 mètres, ont donné des quantités de pétrole différentes et croissant avec la profondeur, et la quantité d'huile minérale fournie pendant 139 jours a été de à 1,440,000 litres. Le bitume était mélangé à de l'eau qui formait de un neuvième à un dixième du volume total.

A part ces deux régions principales, il en existe encore deux autres qui produisent du pétrole, l'une dans le district de Tiflis, où le puits dit du Tzar produit 96,000 litres, l'autre non loin de Grosnaja, où se trouve quatre puits, remontant aussi à une époque inconnue, et fournissant annuellement 1,120,000 litres.

Dans le prolongement du grand alignement dont il vient d'être question, et sur le bord de la mer Caspienne, l'île de Naphte ou de Tschéleken, appartenant à la Perse, présente des émanations semblables. Le pétrole, également accompagné de sources salées et chaudes, est exploité par des milliers de petits bassins. Quelques-uns, au moment où ils viennent d'être foncés, fournissent jusqu'à 600 kilogrammes par jour; mais leur rendement diminue bientôt et, quelquefois, au bout de six mois ou deux ans, ils sont abandonnés. Il en est d'autres qui sont beaucoup plus longtemps productifs.

Il est à remarquer que le naphte est également connu au sud de la mer Caspienne, dans la province de Mazandéran.

Enfin, il convient d'ajouter que des indices de pétrole reconnus dans la région moyenne de la Russie, dans les gou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vernements de Samara et de Simbirsk, ont donné lieu à des forages qui s'exécutent depuis 1865, d'après les indications de M. le général de Helmersen.

Perse. — Il est des gîtes que l'on exploite depuis une antiquité très-reculée, en Perse, dans la vallée de l'Euphrate, et à Chiras, dans le Kurdistan, toujours dans des conditions assez analogues, dans des terrains tertiaires, dont ils occupent deux étages, d'après les recherches de M. Ainsvorth; ils sont accompagnés de vastes dépôts de gypse et de soufre et associés à des sources thermales.

Cuba. — Des divers minéraux utiles que possède l'île de Cuba, le plus remarquable est peut-être l'asphalte, connu dans le pays sous le nom de *chapapote*. Il est quelquefois accompagné aussi de bitume visqueux, et associé à des couches que l'on rapporte à l'époque tertiaire, en même temps qu'à de la serpentine; on en rencontre, dit-on, en divers points, sur une zone de plus de 500 kilomètres de longueur. L'asphalte provenant de diverses mines, qui est exposé, rappelle la houille par son état solide et son éclat; il a été en effet utilisé comme combustible. Les puits forés pour son exploitation produisent, sur certains points, du pétrole et de l'hydrogène carboné. Son prix varie, dit-on, de 37 à 75 francs la tonne.

Birmanie. — Le pétrole abonde également dans l'empire Birman, qui fournit à l'Europe des quantités considérables de cette huile, connue en Angleterre sous le nom de Rangoontar ou de Burmese naphta. Dans le bassin de la rivière Irawaddy, on a foncé des puits nombreux qui atteignent jusqu'à 60 mètres de profondeur. En 1862, ils étaient au nombre de 520 et fournissaient ensemble 18 millions de litres d'une huile minérale, caractérisée par l'abondance de la paraffine qu'elle renferme.

Trinité. — Parmi les nombreux gîtes bitumineux, nous pou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vons citer encore ceux connus depuis longtemps dans l'île de la Trinité, qui continuent à envoyer leurs produits en Europe, ainsi que ceux de l'île de Java. Dans cette dernière, de nombreuses sources de bitume, situées à proximité de sources thermales, jaillissent des terrains tertiaires, dans le voisinage des volcans contenant du lignite.

Observations sur le gisement des bitumes. D'après ce qui précède, on voit que les divers gisements, dans lesquels le pétrole est exploité, appartiennent aux terrains stratifiés, mais à des terrains de divers âges, depuis les terrains tertiaires comme dans la région des Carpathes, jusqu'aux terrains les plus anciens, les terrains dévonien et silurien, comme dans l'Amérique du Nord. Ceux de cette dernière région sont d'autant plus remarquables qu'ils appartiennent à des couches qui ne renferment pas de débris de végétaux, en quantité notable.

Quoique le gisement des bitumes ait été étudié dans beaucoup de contrées, l'origine de cette substance n'est pas déterminée avec certitude. On la fait généralement dériver de substances organisées, par une transformation analogue à celle qui a produit la houille.

Des considérations tirées de leur disposition, aussi bien que de la possibilité de les reproduire synthétiquement, sans le secours de corps organiques, ont conduit au contraire à penser que les pétroles peuvent avoir une origine franchement minérale, aussi bien que l'hydrogène carboné ou l'acide carbonique qui s'exhalent des nombreux orifices volcaniques. L'hydrogène protocarboné, qui se dégage très-fréquemment de ces gîtes, surtout au moment où on y pénètre, ainsi que des volcans gazeux, est en rapport avec ces décompositions intérieures. L'Exposition ne présente rien qui permette d'élucider davantage la question; ce qu'il y a de plus certain, c'est qu'en général les gîtes de bitume sont en relation avec des phénomènes éruptifs, comme en Auvergne, ou au moins avec

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des dislocations qui dérivent de phénomènes internes, aussi bien que les sources thermales qui leur sont souvent associées.

§ 2. — Schistes bitumineux ou naphtoschistes.

On exploite, pour la fabrication d'huiles dites minérales, des roches argileuses ou schistes qu'on nomme improprement schistes bitumineux. En général, le bitume n'y est pas tout formé; mais la matière charbonneuse dont ces schistes sont imprégnés, soumise à l'action de la chaleur, produit, en se décomposant, des huiles, à peu près comme le goudron se produit aux dépens du bois, sans y préexister. Pour ne pas employer le nom inexact de schiste bitumineux, on a proposé le nom de *pyroschiste*, *schiste à kérosène* et plus récemment, celui de *naphtoschiste*, c'est-à-dire schiste produisant des matières analogues au bitume.

France. — La distillation des schistes qui, dès 1833, avait déjà donné lieu, en France, à des procédés d'extraction, s'est beaucoup développée jusqu'en 1865.

A part les premières exploitations de naphtoschiste du département de Saône-et-Loire, aux environs d'Autun, on en a ouvert d'autres dans le département de l'Allier, près de Buxières-la-Grue. Les schistes de cette dernière localité présentent, dans leur aspect, une grande ressemblance avec ceux d'Autun, et renferment, comme eux, des empreintes de poissons.

Le terrain houiller des environs de Fréjus (Var), à Boson, renferme des couches de naphtoschiste, ressemblant aussi au boghead d'Écosse et à certains *cannel-coal* que l'on voit exposés; depuis peu d'années, on les exploite pour les distiller et pour en fabriquer des huiles. Le bassin houiller de Vouvant (Vendée) renferme aussi des naphtoschistes qui ne sont pas exploités. Il en est de même dans l'Ardèche, à Vagnas, mais pour des couches tertiaires.

En 1865, la France produisait 12,000 tonnes d'huile de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

schiste brute, se décomposant comme il suit : bassin de Saône-et-Loire, 8,000 tonnes; bassin de l'Allier, 2,500 tonnes; bassin de l'Ardèche, 1,500 tonnes.

La concurrence des pétroles d'Amérique a réduit la production, en 1866, à 9,000 tonnes, et le chiffre de 1867 n'atteindra pas 5,000 tonnes. Le prix moyen des huiles brutes, sur place, est de 25 francs les 100 kilogrammes. Leur rendement moyen en huiles fines et propres à l'éclairage, est de 55 pour 100.

Enfin le calcaire asphaltique de Lobsann, dont il a été question plus haut, est aussi distillé pour la fabrication d'huiles minérales, et en a produit ainsi environ 1,000 tonnes, en 1865.

Grande-Bretagne. — La couche charbonneuse, connue en Écosse sous le nom de *boghead*, forme comme le type le plus riche des roches dont il s'agit. On connaît toute l'importance qu'a présentée cette exploitation, tant pour la Grande-Bretagne que pour les pays dans lesquels il était exporté. Des variétés de combustibles connues, sous le nom de *cannel* et provenant des terrains houillers de l'Écosse, du Lancashire, du Yorkshire et du Flintshire, servent à peu près aux mêmes emplois. On a aussi découvert, il y a six ans, dans le nord du pays de Galles plusieurs couches de cette variété, d'une excellente qualité, que le bas prix des huiles empêche d'utiliser comme on pourra le faire plus tard.

La production de l'Angleterre en huiles minérales s'est aussi fortement ressentie de la dépréciation due à l'abondance des huiles d'Amérique ; car sa valeur qui, en 1865, était d'environ 25,000 tonnes, est tombée, en 1866, à 18,000, et, en 1867, descend à environ 8,000 tonnes.

Pays d'Allemagne. — La fabrication d'huile et de paraffine se produit, dans certaines parties de l'Allemagne, surtout au moyen de certaines variétés de lignite, notamment, en Prusse, aux environs de Halle et à Rott près Bonn.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En Autriche, à Steyerdorf, ce sont les schistes avoisinant la houille, qui sont utilisées pour la fabrication d'huiles et de paraffine. On estime que le rendement en huile, de 1860 à 1866, a été en moyenne de 3,8 et 4,5 pour 100.

Espagne. — L'Espagne paraît renfermer, dans les provinces du nord, des gisements de naphtoschiste, sur lesquels des travaux viennent d'être commmencés.

Italie. — En Italie, on a tenté aussi d'exploiter les naphthoschistes qui accompagnent le lignite dans le Véronais et le Vicentin. On les désigne sous le nom de *liberone*.

Russie. — On en connaît aussi dans le nord de la Russie, qui sont représentés à l'Exposition par des échantillons du bassin de la Petchora, bord de l'Ouchta. Ils ont reçu le nom vulgaire de *domanik*.

Nouvelle-Galles du Sud. — La Nouvelle-Galles du Sud, si riche en houille, renferme également, dans les couches supérieures du terrain carbonifère, des naphtoschistes, avec empreinte de plantes (connues sous le nom de glossopteris), que leur aspect et leur qualité rapprochent du boghead d'Écosse. Ces schistes auxquels, selon les variétés, on a donné les noms impropres de *cannel-coal*, *black-cannel*, *brown-cannel* et *shaly-cannel*, sont exploités et distillés au moyen de la houille du voisinage. Déjà, en 1865, on en avait traité 700 tonnes; on en signale des quantités extrêmement considérables.

Brésil. — On vient également de découvrir au Brésil, dans la province de Bahia, des schistes très-chargés de matières charbonneuses, que l'on dit être abondants; comme ils sont situés au bord de la mer, dans un endroit accessible aux navires, sur la rive droite du fleuve Maraü, ils méritent aussi d'être signalés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV.

MINERAIS DE FER.

Les minerais de fer exposés comprennent, dans leurs principales variétés, les diverses espèces qui servent à l'extraction du métal, c'est-à-dire le *fer oxydulé*, le *fer oxydé rouge*, le *fer carbonaté*, dans ses deux principales variétés, *spathique* ou *lithoïde*, enfin, le *fer oxydé hydraté*.

Chacune de ces espèces offre, au point de vue métallurgique, des qualités spéciales; aussi, malgré l'inconvénient de diviser ce qui concerne la production en fer d'un même pays, croyons-nous devoir passer en revue séparément, les faits qui concernent chacune de ces quatre espèces.

§ 1. — Fer oxydulé.

Le *fer oxydulé*, *fer oxydé magnétique*, *minerai magnétique* ou *magnétite*, depuis longtemps célèbre par les fers d'excellente qualité, qu'il produit en Suède et dans l'Oural, a encore grandi en importance, par les récents perfectionnements de la métallurgie du fer et de l'acier. Il est habituellement mélangé de peroxyde de fer ou oligiste, qui s'y trouve en proportions variables.

Suède — Les gîtes de la Suède, qui sont représentés par une série de volumineux échantillons, constituent de nombreux amas de forme lenticulaire, disposés parallèlement aux feuillets du gneiss encaissant et contemporains de la cristallisation même de la roche, c'est-à-dire, remontant à la période géologique la plus ancienne.

Parmi les échantillons exposés, on en remarque un de Taberg (Jonkœping), qui renferme du manganèse en quantité notable, en même temps qu'une forte quantité d'acide

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

titanique (10 pour 100), et qui produit de la fonte blanche miroitante.

On a extrait en Suède, en 1865, à part le minerai des marais et des lacs qui est abondamment exploité, 492,474 tonnes d'oxyde magnétique dans 524 mines, au moyen de 5,000 ouvriers. La teneur de ce minerai varie de 20 à 45 pour cent. Cette production n'est pas aussi élevée qu'elle pourrait l'être, en raison du grand nombre de gîtes que renferme le pays, particulièrement dans le gouvernement d'Œrebro, et de l'importance que le développement du procédé Bessemer paraît devoir donner à cet espèce de minerai.

Les amas que l'on connaît en Laponie, aux environs de Gellivara, sous le 67e degré de latitude, ont aussi attiré l'attention, et, en 1865, on a essayé de créer des moyens de transport jusqu'à la mer, en canalisant le fleuve Luleo, et par un chemin de fer. Après de fortes dépenses, cette entreprise est suspendue.

Norwége. — La Norwége renferme, particulièrement aux environs d'Arendal, des amas de minerai de fer semblables à ceux de Suède, mais en quantité beaucoup moins importante.

France. — En France, l'oxyde magnétique est à peine exploité. A l'extrémité sud-ouest des Pyrénées-Orientales, à Mas-Carol, on en extrait, qu'on importe en Catalogne pour les forges catalanes, et il en existe quelques autres gîtes dans cette même région des Pyrénées.

Le silico-aluminate magnétique, connu en Bretagne et en particulier à Bas-Vallon (Côtes-du-Nord), ne peut être considéré comme appartenant à l'espèce qui nous occupe; il est en couches subordonnées au terrain silurien et à un niveau bien déterminé.

D'ailleurs, d'autres gisements, tel que celui de Villefranche (Aveyron), celui de Collobrières (Var), où l'oxyde magnétique est mélangé de grenat, ne sont pas exploités.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quant à celui de Dielette, près Cherbourg, dans le département de la Manche, qui est encaissé dans les schistes cristallins, et qui est formé d'un mélange de magnétite et d'oligiste, il n'est découvert qu'à marée basse, et n'a pu, malgré sa richesse qui dépasse 45 pour 100, être l'objet d'une exploitation suivie.

Depuis ces dernières années, on supplée, en France, à l'absence du minerai magnétique d'Algérie par des importations qui ont exercé une influence des plus heureuses sur la fabrication du fer et de l'acier.

Algérie. — Il existe, en effet, en Algérie, aux environs de Bone, un amas de ce minerai extrêmement remarquable, par ses dimensions ainsi que par l'homogénéité de sa masse. Il consiste fréquemment en un mélange intime de magnétite et d'oligiste; on a constaté que les fontes qui en proviennent sont très-tenaces; son rendement moyen atteint 66 pour 100.

Autrefois exploité par les Vandales, il a été récemment l'objet de travaux très-considérables, tant pour son exploitation que pour son transport au rivage et son embarquement. Depuis le 1er mai 1865 jusqu'au 31 décembre 1866, la mine a produit 159,200 tonnes, et sa production est en voie d'accroissement; celle de 1867 dépassera 142,000 tonnes. La tonne se vend 10 francs, rendue sur le quai de Bone.

D'autres amas analogues ont été reconnus dans les environs de Bone et de Philippeville, ordinairement associés à des micaschistes grenatifères et à des calcaires-marbres L'un d'eux, situé à Medjez Rassoul, de nature manganésifère, a été également exploité autrefois par les Vandales. On l'étudie en ce moment, au point de vue de l'exploitation dont il pourrait être l'objet.

Sardaigne. — Le fer oxydulé est répandu dans diverses parties de l'île de Sardaigne, et particulièrement dans la ré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gion méridionale, depuis le cap Spartivento jusqu'à la vallée d'Iglésias ; il se trouve dans les schistes siluriens et métamorphiques, constituant des couches ou peut-être des filons, et avoisiné par de gros filons quartzeux. Il a été rencontré en masses considérables à Saint-Léon, à proximité de syénite et de granite. Comme en Suède, il est accompagné de grenat qui est quelquefois assez abondant pour entraver l'exploitation du minerai, ainsi que d'amphibole et de quartz. Ce gîte a été l'objet de travaux persévérants et très-considérables de la part de la Société Pétin-Gaudet. Un chemin de fer de 15 kilomètres a été établi pour le transport à la mer ; on exporte actuellement 40,000 tonnes de minerai par an, et bientôt ce résultat pourra être augmenté. Ce minerai participe à la production de fontes éminemment propres à la fabrication de l'acier Bessemer, qui sont élaborées en France.

Italie. — L'île d'Elbe possède au cap Calamita, à proximité de ses masses d'oligiste, un gisement important de magnétite, qui fournit, en moyenne, 10,000 tonnes par an.

Nous ne faisons que mentionner les amas de minerai oxydulé de la vallée d'Aoste, de Cogne et de Traverselle, en Piémont, qui ne produisent qu'une faible quantité de minerai ; mais on sait combien ce dernier gisement est intéressant par les espèces, en beaux cristaux, qu'il a fournis à la plupart des collections.

Il convient de mentionner aussi les gîtes de fer oxydulé, qui se trouvent en Toscane, à Stazemma, dans la vallée de Serravezza. Ces gîtes, abandonnés depuis des siècles, ont été récemment l'objet d'études.

Autriche — Le gîte de Moravitza, en Banat (Hongrie), est employé très-utilement aux usines de Reschitza.

Oural. — Les puissants amas d'oxyde magnétique de l'Oural, dont le principal, la montagne de Vissoko-gora, près de Blagodat, alimente les usines de M. P. Demidoff, sont également représentés à l'Exposition.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Etats-Unis et Canada. — Aux États-Unis, dans l'État du Michigan et dans celui de New-York, à Marquette, sur les bords du lac Supérieur et du lac Champlain, de puissants amas d'oxyde magnétique mélangé d'oligiste, sont subordonnés au gneiss (terrains laurentien et huronien), c'est-à-dire dans un gisement analogue à celui de Suède (1). Leur exploitation s'est considérablement accrue dans ces derniers temps. Du commencement de 1866 au 1er décembre de la même année, on a transporté, sur le chemin de fer qui part des mines, 204,454 tonnes, ce qui excède le chiffre de 1865 de 20,043 tonnes.

Ce groupe d'amas se prolonge dans le Canada, où il est subordonné aux mêmes terrains. Quoique dans cette région aussi ces amas soient nombreux et souvent de grandes dimensions, ils ont été peu exploités jusqu'à ce jour. Cependant une exploitation vient d'être ouverte à Gros-Cap, pour expédier du minerai aux États-Unis.

Des amas analogues se retrouvent encore dans d'autres parties des États-Unis, par exemple, dans le Missouri, où l'une des « *Iron mountains* », nommée Pilote Knop, a 190 mètres de hauteur et l'autre 70 mètres.

Dans l'État de New-Jersey, le minerai consiste surtout en oxyde magnétique, et est recherché pour la fabrication de l'acier Bessemer. Les propriétaires de gîtes importants situés dans le Morris County, n'ont pas hésité à faire faire, et à grands frais, une carte du pays qui les renferme, sur laquelle les différentes couches connues sont tracées avec beaucoup de soin (2).

Tous les gîtes de minerai de fer des États-Unis dont il vient d'être question, sont dans les mêmes conditions, c'est-à-dire subordonnés aux schistes cristallins et régulièrement stratifiés avec eux, aussi bien que le calcaire ou le quartz qui les accompagnent souvent. Le minerai consiste, en général, en

(1) Celui d'Adirondack, dans l'État de New-York (Essex County), atteint 50 mètres d'épaisseur.

(2) MM. Cooper et Hewett. La carte a été exécutée par M. Cook.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un mélange des deux espèces, magnétite et oligiste. Cette dernière prédomine au lac Supérieur et au Missouri, tandis que la première est plus abondante dans l'État de New-York. En outre, le minerai est souvent mélangé de lits de quartz jaspe. Ces minerais ne sont encore que peu exploités, parce que le combustible est à distance.

Un puissant gisement d'oxyde magnétique vient d'être également découvert en Californie, vers l'extrémité septentrionale de la Sierra Nevada. A proximité de bancs calcaires subordonnés aux schistes cristallins et au milieu de magnifiques forêts, il ne paraît attendre que des voies de transport pour être mis en valeur.

Nous rappellerons, à cette occasion, la montagne de minerai magnétique Cerro Mercado, située au Mexique, et depuis longtemps signalée, mais qui n'est pas exploitée, malgré sa richesse.

Cuba. — L'Exposition présente encore des blocs d'oxyde magnétique provenant de l'île de Cuba, où ce minerai constitue, ainsi que l'oligiste, des gîtes considérables, dit-on, sur le versant sud de la Sierra Maestra, et à moins de 40 kilomètres des célèbres mines de cuivre d'El Cobre. Quoique à peu de distance du port de Juaragua, et bien que le combustible végétal existe en abondance dans les environs, ce gisement n'a pas encore été exploité.

Brésil. — Au Brésil, où l'oligiste est si abondamment associé au quartz, sous forme feuilletée, de manière à constituer, sur de grandes étendues la roche connue sous le nom d'*Itabirite*, il existe, en outre, des gîtes considérables et riches d'oligiste, mélangés de magnétite, tels que celui de Saint-Jean d'Ipanema, dans la province de Saint-Paul, qu'une colonie suédoise exploite depuis 1810. On annonce, en outre, qu'on vient d'en découvrir de nouveaux gisements. Mais la production en fer est loin d'être en rapport avec les grandes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ressources que renferme ce vaste empire, où abondent à la fois le minerai et le combustible végétal.

Portugal. — Parmi les gisements d'oxyde de fer magnétique qui ne sont pas encore exploités, comme ils pourront l'être plus tard, il convient de citer ceux du Por ugal, situés dans la partie septentrionale du royaume, dans la province de Galice. Ils sont subordonnés aux schistes cristallins et à proximité de masses calcaires; celui de Sierra dos Monges, situé dans le district d'Évora, d'où proviennent des échantillons exposés, paraît être l'un des plus importants, tant par sa richesse que par sa proximité du chemin de fer, qui, après un trajet de 85 kilomètres, conduit au port de Barreiro.

Du minerai magnétique est également connu dans le même royaume, dans l'Algarve, où il est arrivé dans les terrains secondaires, à la suite des diorites et des serpentines qui le traversent. Il rappelle ainsi le gisement de Cogne, en Piémont, et de Blagodat dans l'Oural, second type de gisement différent de celui dont on vient de voir plusieurs exemples, aux États-Unis et au Canada comme en Suède.

Appendice.

1° *Franklinite.* — La franklinite, qui consiste en une combinaison des oxydes de fer, de manganèse et de zinc, et qui constitue, comme on le sait, un gîte très-considérable à New-Jersey, est exploitée pour le zinc qu'elle renferme. Le résidu, ensuite traité comme minerai de fer, produit de belles fontes miroitantes qui sont exposées à côté du minerai, et qui ressemblent, à s'y méprendre, aux fontes miroitantes du Rhin.

2° *Fer titané.* — Le fer titané, qui se rapproche par sa composition de l'oxyde magnétique, mais qui renferme de l'oxyde de titane combiné en des proportions variables, est disséminé dans diverses roches éruptives, y compris les laves ac-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tuelles. Bien qu'il ne s'y trouve habituellement qu'en très-petits grains, la destruction de ces roches et les lavages naturels qui en sont la conséquence, l'accumulent parfois sur certaines plages, en assez grande quantité, pour qu'on ait cherché à en tirer parti pour la fabrication du fer et de l'acier.

Ainsi, on en a rencontré abondamment à la Nouvelle-Zélande, au pied du mont Egmont, ancien volcan, sur la plage, dans les environs de Taranaki, et on en a transporté, il y a quelques années, en Europe.

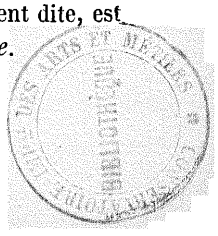
A part ceux de ces dépôts qui, comme celui de Maryland, étaient connus jusqu'à présent, on en signale un très-abondant au Canada, à l'embouchure de la rivière Moisic, sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Ce fer titané, qu'une Compagnie cherche à exploiter, et qui renferme 11 pour 100 de titane et 63 pour 100 de fer métallique, est représenté à l'Exposition, ainsi que le fer et l'acier qui en ont été obtenus, à l'aide de la tourbe, dans des expériences faites sur une assez grande échelle.

En outre, le fer titané se trouve quelquefois à l'état massif, comme celui qui a été signalé par Berthier, à Maisdon, près de Nantes. Des Compagnies anglaises ont cherché à exploiter ce même minerai, en Norwége, aux environs d'Egersund.

Si le fer titané devenait susceptible d'un emploi, on en trouverait des masses considérables, notamment au Canada, associées aux masses de feldspath labrador du terrain de gneiss (laurentien). Le gîte connu, le plus volumineux, celui situé dans la baie de Saint-Paul, à Saint-Urbain, a été suivi sur une longueur de 90 mètres, avec une épaisseur de 38 mètres. Le fer titané qui le compose est quelquefois mélangé d'un peu de rutile.

§ 2. — Fer oxydé rouge.

Le fer oxydé rouge, qui est l'*hématite* proprement dite, est désigné plus ordinairement sous le nom d'*oligiste*.



Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Italie. — Ce minerai représente, en volumineux blocs, le gisement de l'île d'Elbe, dont l'extraction, qui s'élève pour l'année 1865 à 99,674 tonnes, d'une valeur de 1,495,000 fr., est obtenue avec 681 ouvriers.

France. — Le gîte de fer oligiste de Framont, dans les Vosges, n'est à mentionner ici que pour mémoire, comme offrant en France, pour ainsi dire, une reproduction en miniature du gîte de l'île d'Elbe. En effet, c'est un amas formé dans les roches stratifiées anciennes, au contact d'une éruption de porphyre, et composé aussi d'oligiste cristallisé, associé à de la pyrite et à du fer oxydé hydraté, qui paraît former la tête de ces gîtes pyriteux. Ce gîte n'est plus guère exploité, à cause de l'élévation du prix de revient de son minerai; mais les beaux minéraux qu'il produit, tels que la phénakite, le rendent encore très-digne d'intérêt. On peut également mentionner, bien qu'ils ne soient pas exploités, certains gîtes de même minerai que renferment les Pyrénées.

C'est aux environs de la Voulte et de Privas, dans le département de l'Ardèche, que se trouvent nos principaux gisements d'oligiste; mais ce minerai appartient ici à la variété compacte. Dans chacune de ces localités, il constitue un puissant amas lenticulaire, disposé parallèlement aux couches du terrain jurassique, auquel il est subordonné, et mérite par conséquent le nom de couche. Les deux couches, bien que présentant beaucoup de traits de ressemblance, n'occupent pas exactement le même niveau : celle de la Voulte appartient aux marnes inférieures de l'étage oxfordien, tandis que celle de Privas est située dans l'oolithe inférieure et par conséquent plus ancienne. Cette dernière est constituée, sur une épaisseur de 8 mètres 50 centimètres, par du minerai massif rendant 42 pour 100 de fer en moyenne. Quoique les affleurements de la couche s'étendent sur une longueur de 5 kilomètres environ, les dimensions de la partie exploitable ne dépassent probablement pas 2,000 mètres, suivant la direction, et 1,100 mètres, suivant l'incli-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

naison. Dans le gisement de la Voulte, la puissance en minerai s'élève à 14 mètres ; mais elle est divisée en trois couches par des roches stériles ; et sa plus grande longueur aux affleurements est de 1,200 mètres. Une étude topographique détaillée de ces couches est exposée par M. l'ingénieur Ledoux.

Les deux couches de Privas et de la Voulte ont produit, en 1865, 252,000 tonnes de minerai, qui ont alimenté 14 hauts fourneaux.

Angleterre. — L'Angleterre possède aussi d'importants gisements d'hématite, connue vulgairement sous le nom de *redore*, que l'on exploite principalement dans le Lancashire et le Cumberland. Ces minerais sont très-recherchés à cause de leur richesse, qui atteint 50 pour 100, et de leur pureté. Ils contiennent à peine des traces de phosphore et, au plus, un millième de soufre. Ils renferment rarement au delà de un quart pour 100 d'oxyde de manganèse. Ils sont associés au calcaire carbonifère, dont ils remplissent parfois d'énormes poches plus ou moins verticales, et comparables, quant à leur forme, à celles que nos minerais en grains remplisssent dans les terrains moins anciens, dans les calcaires jurassiques et crétacés. Ce minerai est quelquefois siliceux et difficile à fondre, comme la variété de minerai de Privas et de la Voulte, dite agatisée. La production dépasse 800,000 tonnes, dont plus des sept dixièmes sont fournis par le Lancashire, aux environs d'Ulver-Stone. Rendue aux mines du pays de Galles et du Staffordshire, cette hématite, d'une valeur de 50 pour 100, ne revient pas à moins de 22 fr. 50 c. à 25 francs la tonne.

Nassau.— Les nombreux amas d'oligiste de Nassau, également remarquables par leur pureté, et subordonnés aux couches du terrain dévonien, se trouvent habituellement dans le voisinage des roches éruptives contemporaines, à la sortie desquelles se rattache leur origine.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Belgique. — L'oligiste des bords de la Meuse, en Belgique, en masses compactes ou terreuses, à structure oolithique, est en couches dans le terrain carbonifère. Son emploi, très-restreint il y a une quinzaine d'années, s'est considérablement développé; sa richesse et la facilité des transports le rendent accessible aux usines de l'Allemagne et même du nord de la France. La production de 1866 s'est élevée à près de 250,000 tonnes.

Espagne. — Les gisements d'oligiste de la province de Cordoue, situés non loin des houillères de Belmès, sont représentés à l'Exposition.

Nouvelle-Galles du Sud. — Il en est aussi de très-abondants que l'on a récemment découverts en Australie, dans la Nouvelle-Galles du Sud. Ils sont dans les terrains stratifiés anciens, associés à des schistes et à des quartzites; ils sont particulièrement développés près de Narara-Creek. Heureusement située à proximité de belles couches de houilles, cette hématite rouge, d'un rendement de plus de 60 pour 100, commence à alimenter les usines qu'on vient de construire à New-Sheffield, près Nattaï, et qui se sont empressées d'exposer leurs fontes et leurs fers.

§ 3. — Fer carbonaté. — I. Fer spathique.

Le fer carbonaté constitue deux variétés, ou sous-espèces généralement distinctes, aussi bien par leur gisement et leur origine que par leur aspect et les qualités du fer qu'elles produisent.

On sait que le fer carbonaté, à structure éminemment cristalline, est surtout connu sous le nom de fer spathique; il a reçu, en Allemagne, celui de *stahlerz* ou minerai d'acier, à cause de son aptitude à produire des aciers naturels.

Prusse et Autriche. — Des gîtes de ce minerai, qui sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

connus depuis longtemps comme des centres de production, pour la fabrication de l'acier naturel, figurent à l'Exposition : ce sont ceux de Styrie (Loelling) et de Carinthie, de la Thuringe et de Müsen, dans le pays de Siegen.

France. — Les gîtes de fer spathique des Alpes françaises, qui constituent aussi un groupe depuis longtemps connu, sont représentés, dans le département de l'Isère, par les filons des environs d'Allevard et de Vizille, qui, sur les flancs de la chaîne de Belledonne, traversent les micaschistes et se prolongent parfois dans le terrain houiller et jusque dans le trias.

Dans le département de la Savoie, les seules exploitations actuellement en activité sont celles de Saint-Georges d'Hurtières, près d'Aiguebelle. Ce groupe renferme plusieurs filons encaissés dans le micaschiste, dont le principal a 2 à 4 mètres d'épaisseur. Par suite d'anciens usages locaux, le mode d'exploitation de ce minerai est singulièrement arriéré, ce qui en élève beaucoup le prix de revient et en abaisse la production annuelle (6,000 tonnes); mais, dès que cet ancien état de choses aura pu changer, ce gisement prendra sans doute une place plus importante dans la production de nos minerais de fer à acier.

Bien que de nombreuses exploitations aient été ouvertes sur ces filons, surtout entre les altitudes de 900 et de 1,400 mètres, la montagne paraît renfermer encore des massifs considérables et qui sont intacts, notamment entre les galeries inférieures actuelles et le niveau de l'Arc, qui est à plus de 600 mètres en contre-bas. De même qu'aux environs d'Allevard et de Vizille, qui sont dans des conditions de gisement analogues, le fer spathique est ici accompagné de divers sulfures métalliques, dont, avec le quartz et parfois la barytine, ils forment comme le gangue. Parmi ces sulfures, la pyrite de cuivre est assez abondante, dans quelques parties du filon, pour être l'objet d'une exploitation spéciale. Cette pyrite, qui, dans la première moitié du XIVe siècle, formait le principal produit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des mines et donnait annuellement jusqu'à 73,000 kilogrammes de cuivre, n'en fournissait plus dans le siècle dernier que de 20 à 25,000, et aujourd'hui à peine 4,000. C'est l'industrie du fer qui, sur ce point, est appelée à prendre la place prédominante.

Un autre groupe de gîtes de fer carbonaté existe en Savoie, près de Modane, et à proximité du tunnel des Alpes. Il est constitué par plusieurs filons qui traversent le terrain à anthracite et dont le principal, connu sous le nom de Grand-Filon, a été exploité jusqu'à une altitude de près de 3,000 mètres, avec la mine de galène, dite des Sarrazins. Ces deux mines, situées au-dessus de la limite des neiges permanentes, sont peut-être les plus élevées de l'Europe. La mine de fer spathique, exploitée au milieu du XVII^e^ siècle, malgré les conditions si difficiles d'accès où elle se trouve, a été arrêtée en 1845 ; mais elle ne restera sans doute pas toujours abandonnée.

Dans la chaîne des Pyrénées, particulièrement dans le massif du Canigou, on trouve le fer spathique accompagnant l'hématite brune dans les gisements qui seront signalés plus loin.

Espagne. — Sur le versant espagnol, dans la vallée de la Bidassoa (Guipuzcoa), il en existe des filons importants, ainsi que dans plusieurs autres régions de l'Espagne.

Italie. — La contrée de Bergame expose aussi du fer carbonaté spathique, dont le gisement diffère de ceux qui viennent d'être signalés. Ce minerai forme plusieurs couches subordonnées à du schiste et à des grès, qui appartiennent à l'époque du trias et est accompagné d'hématite brune ; ces gîtes forment un groupe qui s'étend sur environ 30 kilomètres. Là, comme dans les autres régions des Alpes, certaines couches de ce minerai sont manganésifères et servent à la fabrication des fontes à acier. Les mines des environs de Bergame, Brescia et Côme, au nombre de dix-neuf, ont produit, en 1865, 24,317 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Angleterre. — En Angleterre, le fer carbonaté spathique, ainsi que l'hématite brune, qui est en relation avec lui, ne se trouvent qu'en très-petite quantité; il en existe dans la presqu'île de Cornwall et le Somersetshire, où il constitue des filons dans le calcaire carbonifère.

§ 4. — Fer carbonaté. — II. Fer carbonaté lithoïde.

Angleterre. — On sait quelle est l'importance pour l'Angleterre, du fer carbonaté lithoïde, qui forme des couches subordonnées au terrain houiller. Pendant longtemps il a fourni la plus grande quantité du fer de ce pays; aujourd'hui, d'autres minerais sont extraits en abondance dans d'autres gisements, et cependant le fer carbonaté des houillères a fourni encore, en 1866, plus des quatre dixièmes de la production totale.

Le sud du Staffordshire est, de tous les districts, proportionnellement à son étendue, le plus riche en minerai houiller, mais aussi celui dans lequel on l'a le plus exploité. Les grands bassins du pays de Galles et de l'Écosse contiennent encore, vu leur étendue, des quantités de minerai fort considérables; cependant, partout où les affleurements sont épuisés, les travaux s'étendent profondément et les prix de revient commencent à hausser.

A part le carbonate lithoïde proprement dit (*clay-ironstone*), il existe une variété à structure schisteuse, connue sous le nom de *blackband* et que l'on exploite depuis longtemps en Écosse. Elle est mélangée de matières charbonneuses, de telle sorte qu'on peut la griller sans addition de combustible. Après le grillage, elle constitue un minerai très-facilement réductible, très-fusible et très-riche; il rend alors jusqu'à 60 pour 100.

Ces deux variétés de fer carbonaté du terrain houiller forment des couches dont l'épaisseur ordinaire ne dépasse guère 0^m10 et atteint au maximum 0^m50; aussi le prix de revient s'élève-t-il ordinairement à plus de 12 francs la tonne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les fers carbonatés lithoïdes de l'Angleterre se distinguent, en général, avantageusement des minerais similaires du continent par la rareté habituelle des pyrites et la présence constante d'une certaine quantité du manganèse; mais tous, sans exception, même ceux réputés des meilleurs, renferment de l'acide phosphorique, ordinairement 0,003 à 0,005. Le rendement minerai brut est évalué moyennement à 30 pour 100 dans le pays de Galles et à 35 pour 100 dans le Staffordshire.

Un gisement de minerai de fer, complétement inexploité il y a moins de vingt ans, vient d'acquérir, en Angleterre, une importance capitale, à cause de son bas prix de revient : c'est celui du minerai dit de Cleveland (Yorkshire). Il a en outre l'avantage d'être situé à proximité du bassin houiller de Newcastle, qui est pauvre en fer carbonaté lithoïde, et d'être à proximité de la mer. On l'exploite à partir de Stokton et de Middlesboro jusqu'à Whitby. Ce minerai est en couches dans l'étage jurassique, connu sous le nom de lias et dans les marnes de la partie moyenne de cet étage. Comme les minerais liasiques de la France, il a la structure oolithique; mais le fer, au lieu d'être à l'état d'oxyde hydraté, y est à l'état de carbonate et de silicate ou chamoisite, constituant un mélange analogue au minerai bleu de Hayange, dans la Moselle. Vers l'extrémité occidentale du gîte, les grains sont plus ou moins magnétiques, ainsi que cela se voit en France. La couche a souvent une épaisseur de 4 mètres, et présente beaucoup de régularité.

Ce minerai tient en moyenne, à l'état cru, 28 à 30 pour 100, et après grillage, 40 pour 100. Il est fortement phosphoreux, et contient en moyenne 1,5 à 2 pour 100 d'acide phosphorique, c'est-à-dire au moins le double de ce que renferment les minerais houillers; il renferme, en outre, de la pyrite de fer, et est inférieur, par sa qualité, au carbonate du terrain houiller. Rendu au haut fourneau, il ne revient, à l'état cru, qu'à 5 à 6 francs, et après grillage, qu'à 7 fr. 50 à 8 francs la tonne. C'est le prix le plus bas auquel les minerais de fer puissent être livrés aux maîtres de forge anglais.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Son extraction s'est accrue d'une manière très-rapide, et, en 1866, elle a atteint 2,800,000 tonnes, à l'état cru, c'est-à-dire qu'elle forme environ 28 pour 100 des minerais de fer anglais.

La production des Iles Britanniques en minerai de fer, en 1866, a été de 9,665,012 tonnes, d'une valeur de 77 millions 975,000 francs.

Le plus important de tous les comtés de l'Angleterre, à cet égard, est le Yorkshire, qui a fourni 3,166,000 tonnes, d'une valeur de 20,761,175 francs.

Vient ensuite le Staffordshire, avec sa production de 1,211,243 tonnes de fer carbonaté des houillères, d'une valeur de 9,281,400 francs. Le Cumberland et le Lancashire ont respectivement fourni 838,726 tonnes de minerai : ces derniers chiffres sont, il est vrai, inférieurs à ceux du Staffordshire; mais ils s'appliquent à l'hématite rouge, dont la valeur est bien supérieure à celle du minerai des houillères. Ils représentent en effet 22,090,400 francs.

Parmi les 15 autres comtés de l'Angleterre qui concourent à cette énorme production de métal, on peut citer encore le Gloucestershire, le Devonshire, le Sommersetshire et le Cornwall, qui fournissent de l'hématite brune, et quelquefois aussi du fer carbonaté spathique, d'un poids de 256,806 tonnes.

L'Écosse a produit 1,587,000 tonnes de minerai, c'est-à-dire environ moitié de ce qu'a donné le Yorkshire.

Quant à l'Irlande, elle ne figure dans le total que pour 25,525 tonnes.

Les divers minerais de fer dont il vient d'être question ont concouru à la production de l'Angleterre, en 1866, pour les proportions suivantes :

	SUR 100.
Fer carbonaté des houillères, lithoïde et blakband.....	42
Minerai de Cleveland.....	28
Hématite rouge de Lancashire et du Cumberland.....	15
Hématite brune et autres variétés voisines.....	13
Fer spathique.....	2
TOTAL.....	100

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour compléter, nous ajouterons qu'on a importé, pendant cette même année 1866, 56,989 tonnes de minerai étranger, provenant principalement d'Espagne (Garutcha el Sommo Rostro).

Tandis que, depuis vingt-cinq ans, la production de l'Angleterre en houille a triplé, celle de la fonte, et par suite celle des minerais de fer, s'est accrue suivant une progression encore plus rapide, dans le rapport de 1 à 5.

Les importantes études publiées par le Geological Survey ont contribué à bien faire connaître le gisement du minerai de fer dans la Grande-Bretagne, de même que celui de la houille.

France. — En France, cette sorte de minerai est peu exploitée; le bassin houiller d'Aubin (Aveyron) est celui qui en renferme le plus abondamment.

Il existe aussi du fer carbonaté, très-nettement cristallisé, dans un gisement tout différent de celui où le fer spathique se trouve ordinairement. Il appartient au terrain houiller; il forme des couches évidemment contemporaines de ce terrain et souvent continues. Il a été rencontré dans le département du Gard et dans le bassin houiller d'Alais, particulièrement à Palmesalade. Malgré sa ressemblance d'aspect avec le fer spathique des filons, il ne possède pas, comme lui, la propension aciéreuse, c'est-à-dire qu'il ne donne pas de fonte à acier. On pourrait le distinguer par une épithète particulière, telle que celle de *fer carbonaté saccharoïde,* par opposition au fer carbonaté lamellaire. C'est un des exemples remarquables, où l'on voit le mode de formation géologique influer sur la nature des produits. Cette même variété abonde aussi en Westphalie.

Le fer carbonaté lithoïde se trouve fréquemment en rognons dans le lias, mais ordinairement il n'y est pas assez abondant pour être exploité. Toutefois, dans certaines localités, ces rognons liasiques ont été remaniés dans les alluvions anciennes et concentrés par suite de lavages naturels; ils se sont en même temps décomposés; on peut alors extraire ce minerai passé à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'état d'oxyde hydraté. C'est ce qui a lieu aux environs de Zinswiller (Bas-Rhin) et de Florange (Moselle).

Prusse. — Le carbonate lithoïde a été l'objet d'une étude approfondie dans le bassin houiller de la Westphalie. La position de ses diverses couches, dont l'importance n'a été reconnue que dans ces dernières années, est figurée sur plusieurs coupes verticales du bassin, les unes d'ensemble, les autres de détail; les deux principales sont prises aux environs d'Essen et de Dortmund.

Russie. — Le fer carbonaté lithoïde se rencontre en Russie, et est exploité aux environs de Mourom. Il appartient ici au terrain permien, et est remarquable par sa blancheur. Une partie du minerai extrait en Pologne, dans le district de Radom, consiste en fer carbonaté lithoïde, dont une autre partie a été décomposée et est à l'état d'oxyde hydraté. Il se trouve dans un étage plus récent que ceux dont il vient d'être question ; on l'a rapporté au lias.

Etats-Unis. — On expose aussi un volumineux échantillon de blackband que l'on vient de découvrir, à la fin de 1866, en Pensylvanie (États-Unis), avec une épaisseur de 1^{m} 60, à proximité de la puissante couche d'anthracite dit mammoth.

§ 5. — Fer oxydé hydraté.

Le peroxyde de fer hydraté, connu sous le nom de fer hydroxydé et de limonite, présente plusieurs variétés peroxydées que l'on distingue d'après leur aspect et leur composition, ainsi que d'après la nature du fer qu'elles produisent ; parmi celles-ci, l'hématite brune mérite une mention spéciale.

France. — Les minerais de fer de la France qui, par l'importance de leur extraction, occupent dans notre pays le pre-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mier rang après la houille, appartiennent, pour la plus grande partie, à cette espèce. Ils sont représentés à l'Exposition par une collection nombreuse, dans laquelle ils sont classés par département. On les considérera ici d'après leurs différents gisements, auxquels correspondent des variétés distinctes.

Pour l'examen général auquel nous devons nous borner, nous grouperons ces gisements sous deux catégories principales : 1° *filons et amas transversaux;* 2° *couches et amas subordonnés parallèlement aux terrains stratifiés*, que, pour abréger, on peut désigner sous les noms d'*amas concordants*, et à la suite desquels on peut ranger les dépôts superficiels de diverse nature.

C'est à la première sorte de gisement qu'appartient principalement l'hématite brune manganésifère, qui est le plus particulièrement recherchée à cause de l'absence de corps nuisibles à la qualité du fer, et de la présence habituelle du manganèse. Ses qualités comme son origine la rattachent, dans ses principaux gisements, aux gîtes de fer spathique, auquel elle est d'ailleurs fréquemment associée.

Parmi les divers amas d'hématite brune, celui de Vicdessos, dans l'Ariége, qui est le plus exploité, est représenté non-seulement par la collection de ses minerais, mais aussi par divers dessins et par un modèle dû à M. l'ingénieur Mussy, qui représente bien la structure de ce gisement remarquable.

Un groupe d'amas de même nature s'est produit autour du massif granitique du Canigou (Pyrénées-Orientales), d'environ 16 kilomètres de diamètre, qui traverse les terrains stratifiés. Ces amas, répartis en deux régions distinctes, renferment en abondance des minerais très-purs, riches en manganèse et d'excellente qualité. Ils n'attendent que l'exécution d'un chemin de fer pour être plus activement exploités.

D'autres régions des Pyrénées renferment également des gisements d'hématite brune, qui sont représentés dans la collection du Ministère des travaux publics.

A part ces amas, il existe aussi, en différents points du terri-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

toire, des filons de fer oxydé hydraté, par exemple dans les Vosges; mais ces derniers, quoique nombreux, ont cessé d'être exploités à cause du prix élevé auquel leur minerai revenait. Il en est de même de ceux de Chiseuil (Saône-et-Loire).

C'est ordinairement en couches ou en amas lenticulaires subordonnés aux terrains stratifiés de divers âges, que se trouve l'oxyde hydraté.

Ces gîtes de fer stratifiés sont répartis dans divers étages de la série des terrains.

Le terrain du trias ne renferme guère, en France, de couches exploitables que dans les départements du Gard et de l'Ardèche. A la partie inférieure de ce terrain, il existe toutefois des couches de limonite cloisonnée, qui sont particulièrement connues au Travers, près de Bességes, et à Bordezac (Gard), et qui se prolongent dans le département de l'Ardèche, entre l'Argentière et Aubenas, principalement à Merzelet et à Ailhon. Ces minerais, quoique peu manganésifères et fréquemment mélangés de barytine, sont en général de bonne qualité, surtout à la mine de Travers, qui, malheureusement, est noyée depuis plusieurs années.

Ce sont surtout les terrains jurassique et crétacé qui sont importants pour l'industrie du fer, tant par la quantité de minerai produite que par son bas prix de revient. Le terrain jurassique renferme lui-même le minerai à divers étages.

Nous mentionnerons pour mémoire et surtout à cause de l'intérêt géologique qu'elle présente, la couche située à la base même du lias, dans l'arrondissement de Semur (Côte-d'Or); elle est représentée par un modèle ainsi que par une série d'échantillons, qui expriment clairement les conditions dans lesquelles elle s'est formée. Tandis qu'à Beauregard cette couche se présente avec les caractères ordinaires, elle a été silicifiée non loin de là, à Thostes, selon toute probabilité par l'arrivée de sources siliceuses, contemporaines de sa formation, et de celles qui ont silicifié les arkoses dans une foule de points, situés vers la périphérie du plateau central de la France.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

C'est aussi à la base du lias qu'appartient la couche située à Mazenay et à Change; on l'exploite pour l'alimentation des usines du Creusot, qui n'emploie plus d'autre minerai indigène. L'épaisseur de cette couche est de 0m 70 à 0m 80 dans la première localité, et d'environ 2 mètres dans la seconde. L'extraction s'est élevée, en 1866, à 213,000 tonnes.

Le niveau situé à la partie supérieure du lias est des plus importants, notamment dans le nord-est de la France. C'est à ce niveau qu'appartient la couche de minerai oolithique qui, il y a vingt-cinq ans, n'était employé que par les usines de Hayange, et qui, aujourd'hui, joue un rôle capital dans la production du fer. Cette couche se retrouve, en une foule de points, dans les deux départements de la Moselle et de la Meurthe, aux environs d'Ottange, de Longwy, d'Hayange, d'Ars-sur-Moselle et de Frouard, où ils donnent lieu, surtout depuis quelques années, à une vaste exploitation.

Bien que cette couche occupe un niveau bien constant, à la partie supérieure de l'étage du lias, l'épaisseur exploitable en est extrêmement variable, ainsi que sa composition ; son rendement varie de 28 à 40 pour 100 de fer; le prix de revient est généralement très-peu élevé, en moyenne, 3 francs à 3 fr. 40 c. la tonne. Les trente-deux concessions qui ont été accordées jusqu'à présent sur cette couche occupent une superficie de 14,614 hectares, et ont produit, en 1865, 819,534 tonnes. La progression rapide que l'extraction a présentée dans ces dernières années est loin d'avoir atteint sa limite ; car, à part les usines des deux départements qu'il alimente, on exporte encore ce minerai dans la Meuse, le Bas-Rhin, la Haute-Marne, les Ardennes, le nord de la France, la Belgique et la Prusse, pour les usines de Sarrebrück ; le canal de la Sarre, récemment terminé, contribue déjà pour une bonne part à ces exportations.

En 1866, le département de la Moselle, qui figure à la tête des départements producteurs en minerais de fer, a extrait 641,444 tonnes de minerai oolithique, dont le prix de revient

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

a été, sur le lieu d'extraction, de 3 fr. 39 c. pour celui qui est extrait des mines et qui forme la plus grande partie (610,400 tonnes) ; celui qu'on extrait à ciel ouvert ne revient même qu'à 2 francs la tonne.

Dans le département de la Meurthe, l'exploitation du minerai oolithique a subi une progression non moins forte ; en 1866, elle a atteint 262,600 tonnes, revenant en moyenne à 3 fr. 90 c. la tonne chargée sur bateaux ou sur wagons.

Le tableau suivant résume l'accroissement rapide que présente, dans ce centre important, depuis six ans, l'extraction du minerai oolithique.

	MOSELLE.		MEURTHE.	
Année.	Production, tonnes.	Valeur, francs.	Production, tonnes.	Valeur, francs.
1861	300 163	865,896	53,861	214,800
1862	374,353	1,155,174	78,443	312,100
1863	383,305	1,268,430	131,550	499,700
1864	455,017	1,380,054	134,000	509,200
1865	604,778	2,005,362	214.656	817,873
1866	641,444	2,170,909	262,600	932,960

Il convient d'ajouter qu'une partie considérable du minerai dont il vient d'être question est consommé en dehors de ces deux départements. Ainsi, dans cette dernière année, 1866, on en a expédié, tant de la Moselle que de la Meurthe, 138,800 tonnes, dans les départements du Nord, de la Meuse et des Ardennes ; 50,690 tonnes, en Belgique, et 27,722 tonnes, dans la Prusse et la Bavière rhénane.

On verra plus loin que le grand-duché de Luxembourg, dans lequel se prolonge la même couche de minerai, prend part à ce mouvement d'exportation.

Cette couche du lias supérieur, dont il vient d'être question dans la Moselle et la Meurthe, se trouve au même niveau et est exploitée dans d'autres régions de la France, notamment à Vicherey (Vosges), à Jussey (Haute-Saône), à Villebois (Ain), la Verpillière (Isère), et jusque dans l'Aveyron.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le département de l'Aveyron, la couche que l'on exploite à Mondalazac, à la partie supérieure du lias, comme dans la Moselle et la Meurthe, a un rendement en fer peu élevé. Aussi, quoiqu'elle soit à proximité de la houille, son extraction a bien diminué depuis l'année 1862, où elle était de 114,905 tonnes, jusqu'à 1866, où elle n'était plus que de 59,600. Cette diminution ne tient pas seulement à ce que, depuis lors, un certain nombre de fourneaux qui le consommaient à Aubin ont été éteints, mais à ce qu'on a importé des quantités, bien plus fortes qu'autrefois, de minerais riches et étrangers au département, et qu'on emploie des scories.

Il est à ajouter que ce même niveau se retrouve en Allemagne, dans l'Alpe du Wurtemberg (Wasseralfingen), au Hartz, et enfin dans le nord de l'Angleterre, où il a acquis également, dans ces dernières années, une si grande importance par le minerai de Cleveland.

C'est à un étage du terrain jurassique plus élevé, à l'étage oxfordien, que l'on exploite du minerai dans les Ardennes, à Poix, et à Mangiennes, dans la Meuse.

A la base du terrain crétacé, dans l'étage néocomien, on trouve le minerai qui a une si grande importance métallurgique, particulièrement dans la Haute-Marne, à Vassy, Saint-Dizier, Eurville; dans la Marne; dans l'Aube, à Vandeuvre; dans la Meuse, où il est très-exploité dans l'arrondissement de Bar-le-Duc et à Aulnois; dans les Ardennes, à Grand-Pré. Il se prolonge également vers le sud, dans le Doubs, à Métabief, et dans le Jura, à Boucherans. Il a souvent la structure oolithique comme celui du terrain jurassique.

Le département de la Haute-Marne a produit, en 1866, 93,196 tonnes de minerai brut, ce qui équivaut à 284,035 tonnes de minerai prêt à être fondu. Plus des quatre cinquièmes de ce minerai proviennent du terrain néocomien et le reste de l'étage oxfordien. Sur ce chiffre, on a transporté 36,680 tonnes dans les départements du Nord et de la Côte-d'Or.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le minerai de fer pisolithique ou minerai en grains, que l'on exploite activement dans diverses parties de la France, se rapporte au terrain tertiaire, ainsi que des minerais d'autre forme. Toutes ces variétés sont parfaitement représentées dans la collection exposée. Le minerai pisolithique est exploité dans les départements du Cher, de l'Indre, du Doubs, de la Haute-Saône, de la Moselle, de la Côte-d'Or et divers autres. Les rognons de la Dordogne lui appartiennent également. En général, ce minerai ne forme pas des couches régulières, comme les précédents ; il remplit des bassins ou des poches, dans lesquelles il est ordinairement mélangé à de l'argile. Il est, en général, de très-bonne qualité, mais d'un prix de revient souvent trop élevé pour les conditions actuelles de l'industrie du fer.

C'est aussi au terrain tertiaire qu'appartiennent les gisements exploités dans divers autres départements, Lot-et-Garonne, Dordogne, Charente, etc.

Un gisement de minerai de fer de cette nature vient d'être récemment découvert, près de Frontignan (Hérault), dans la montagne dite de la Gardéole; comme d'ordinaire, il remplit des crevasses dans le terrain calcaire sous-jacent; il est parfois très-mélangé de quartz, comme les minerais d'Aumetz et de Saint-Pancré (Moselle).

En France, le plus important centre de l'exploitation du minerai de fer tertiaire ou minerai de fer fort, est le département du Cher, dont la production a été, en 1866, de 264,474 tonnes, revenant au prix moyen de 10 fr. 30 par tonne. La production a diminué par suite de l'emploi, dans les usines du Creuzot et du Centre, de minerai de l'Algérie et de l'île d'Elbe. Elle s'élevait, en effet, en 1864, à 390,718 tonnes.

Pour compléter les chiffres qui ont été donnés plus haut sur la production en minerai du département de la Moselle, il convient d'ajouter qu'on a extrait, dans ce département, à part l'énorme quantité de minerai oolithique, 36,604 tonnes de minerai tertiaire, revenant en moyenne à 9 fr. 13 la tonne. La

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

production totale de ce département, sans comparaison le plus important de la France pour son extraction, s'élève donc à 774,048 tonnes.

On voit combien cette richesse en minerai de fer gagnerait encore en importance, si le bassin houiller qui s'étend dans le même département était déjà mis en exploitation régulière et fournissait la houille à de meilleures conditions.

Pendant l'année 1864, la production de la France en minerais de fer, triés ou débourbés, et propres à la fonte, a été de 3,136,710 tonnes d'une valeur de 16,961,000 francs, et par conséquent ayant un prix moyen de 5 fr. 41 cent. Ces minerais de fer ont occupé 14,880 ouvriers, ayant touché ensemble un salaire de 8,978,000 francs.

Les chiffres relatifs à l'année 1866, qui viennent d'être fournis, pour les centres d'extraction les plus importants, montrent combien la production relative de ces centres s'est modifiée dans ces dernières années.

Quelque importante que soit la production du fer, au moyen du minerai oolithique, il est d'autres gisements qui méritent encore à un plus haut degré l'attention. En effet, pour atteindre le but vers lequel on tend aujourd'hui, celui d'obtenir des aciers à bas prix, on n'a pu encore se passer du concours du fer spathique, de l'hématite brune manganésifère ou du fer oxydulé. Ce sont donc les gîtes de cette espèce existant dans différentes contrées, tels que ceux de fer spathique qui ont été signalés plus haut dans diverses parties de la chaîne des Pyrénées ou certaines régions des Alpes, qu'il conviendrait d'étudier, au point de vue de l'exploitation à laquelle ils pourraient donner lieu.

Comme terme de comparaison, nous rapprocherons de la production de la France, en minerai de fer, celles de la Belgique et de la Prusse.

Production de la Belgique — En 1864, la Belgique a produit, en minerai de fer lavé, 968,000 tonnes environ, le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

double de ce qu'elle avait produit en 1850, et plus de cinq fois ce qu'elle produisait en 1841. Plus des huit dixièmes de cette quantité de minerai ont été fournis par les provinces de Liége et de Namur. Les amas du Hainaut n'ont en effet donné que 119,000 tonnes. L'oligiste et l'oxyde hydraté forment les minerais principaux.

Production de la Prusse. — La quantité de minerai de fer extraite dans le royaume de Prusse, en 1865, a été de 1,724,206 tonnes provenant de 1,100 mines, et d'une valeur de 14,503,000 francs.

En outre, dans l'année 1864, dans les pays annexés, on avait extrait les quantités suivantes, qui, depuis lors, se sont considérablement élevées : Hanovre, 167,549 tonnes; Hesse électorale, 16,267 tonnes; Nassau, 325,432 tonnes.

Ces minerais, qui appartiennent principalement au fer carbonaté, à l'oligiste et à l'oxyde hydraté, proviennent de gisements variés.

Grand-duché de Luxembourg. — La couche oolithique du lias supérieur, si importante pour le nord-est de la France, se poursuit, avec une très-belle épaisseur, dans le grand-duché de Luxembourg, où elle est exploitée très-activement, particulièrement aux environs d'Esch-sur-l'Alzette, de Rodange et de la Madeleine. L'exploitation de ce minerai s'est élevée, en 1866, à 477,000 tonnes, dont le prix de revient, mis en wagon près des lieux d'extraction, n'a été que de 2 fr. 50. Ce bas prix s'explique parce qu'il est encore exploité presque partout à ciel ouvert, sur les affleurements des couches. Il n'est pas sans intérêt de connaître le mouvement considérable que l'on fait subir à ce minerai, en raison de son faible prix de revient et des chemins de fer qui le relient à de nombreux pays.

Grand-duché.....	113,000 tonnes
France (Moselle et Nord).....	50,000 —
Prusse.....	131,000 —
Belgique.....	176,000 —
	470,000 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En outre, on extrait aussi, tant dans le grand-duché de Luxembourg qu'en Belgique, dans la province de Luxembourg, particulièrement aux environs d'Athis, du minerai d'alluvion provenant de la destruction de couches du lias supérieur et subordonné aux alluvions anciennes. La quantité de minerai de ce second gisement extraite en 1866 a été de 94,703 tonnes, dont la répartition est comme il suit :

France. — Moselle.....		32,903	tonnes.
— Meuse.....		1,800	—
Prusse.....	environ	20,000	—
Belgique.....	—	20,000	—
Grand-duché.....	—	20,000	—
		94,703	tonnes.

Algérie. — Il existe en Algérie, dans la province d'Alger, à Soumah, un gîte de minerai de fer riche et abondant que l'on commence à exploiter, et qui a donné lieu déjà à une exportation, tant en Angleterre qu'en France.

Espagne. — L'hématite brune se rencontre dans la partie espagnole de la chaîne des Pyrénées, de même que dans la partie française. Des travaux d'exploitation, qui ont été récemment développés sur les filons de fer spathique et d'hématite brune, dans la vallée de la Bidassoa, aux environs d'Irun, sont sur le point de prendre encore plus d'extension. Ils produisent actuellement environ 15,000 tonnes par an.

On peut rattacher au groupe de minerai de fer si important des Pyrénées, les minerais des environs de Sommo Rostro, près de Bilbao, dans la province de Biscaye, qui, à peine exploités en 1848, fournissent aujourd'hui des quantités considérables de leur excellent minerai, tant à la France qu'à l'Angleterre. Leur production, qui, en 1862, n'était que de 30,000 tonnes, s'est beaucoup augmentée depuis lors. En 1865, elle a été de 112,000 tonnes, c'est-à-dire au delà des deux tiers de la production totale de l'Espagne. Ils constituent des amas superposés au terrain crétacé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Haute-Silésie et Pologne. — C'est au terrain triasique et à l'étage du muschelkalk qu'appartiennent les importants dépôts de minerai de fer de la Haute-Silésie, qui se sont formés exactement au même niveau et en même temps que les minerais de zinc et de plomb.

Quant au minerai de fer exploité en Pologne, entre Varsovie et Cracovie, il consiste aussi en fer oxydé hydraté, provenant de la décomposition du fer carbonaté, qui y est encore parfois en mélange; on le rapporte ordinairement à l'étage du lias.

Russie. — On connaît en Russie des minerais de fer abondants et dans différents gisements. Le peroxyde hydraté, que l'on extrait, principalement dans les environs de Krapivna, pour les hauts fourneaux des départements de Toula et de Kalouga, se trouve dans le terrain carbonifère et résulte de la décomposition du fer carbonaté lithoïde. C'est un minerai riche, de très-bonne qualité et très-abondant. On l'a rencontré, dans les mêmes conditions, dans le bassin du Donetz.

États-Unis. — Aux États-Unis, le terrain carbonifère ne renferme pas seulement, en couches, le fer carbonaté, mais aussi l'oligiste et la limonite.

Nouvelle-Écosse. — L'hématite brune paraît exister aussi, en dépôts importants, à la Nouvelle-Écosse, particulièrement à Londonderry, comté de Colchester; on expose de beaux échantillons de cette hématite, ainsi que du fer et de l'acier qui en sont fabriqués et que l'on exporte en Angleterre pour la coutellerie.

§ 6. — Appendice. — Minerais de fer de formation contemporaine.

Les minerais de fer produits dans les anciennes périodes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

géologiques, ne sont pas les seuls exploités. Dans divers pays, on extrait, en effet, en quantité assez considérable, le minerai de fer de formation contemporaine, connu sous le nom de *minerai des prairies*, *minerai des marais et minerai des lacs*, malgré la forte proportion de phosphore qu'il renferme ordinairement.

Tel est le cas en Prusse, où il abonde dans les plaines basses, particulièrement dans les districts de Liegnitz, de Franfort-sur-l'Oder et de Postdam. On en a récemment rencontré en Westphalie, qui est sensiblement exempt de phosphore et, en même temps, riche en manganèse.

On remarque également, parmi les minerais de formation contemporaine, les minerais de fer des lacs de Finlande, précipités sous forme de gros grains arrondis ou aplatis, et qui alimentent la fonderie impériale d'Alexandrowsk, dans le gouvernement d'Olonetz.

Le même minerai est recherché dans les marais et lacs de la Suède, principalement dans trois provinces, qui, en 1865, ont produit 20,298 tonnes de cette sorte de minerai.

Celui du Canada, très-abondamment répandu sur une distance de 160 kilomètres, entre Montréal et Québec, est exploité en quantité considérable, particulièrement pour les usines de Radnor, qui en consomment environ 5,000 tonnes, tandis que les riches gîtes de magnétite et d'oligiste de cette même contrée sont encore sans emploi, par défaut de voies de communication.

Nous citerons également celui du Visconsin aux États-Unis.

L'étude attentive de ces gîtes a montré que leur formation lente, graduelle et continue, longtemps sans explication, est due à l'action de matières qui, en se décomposant, produisent de l'acide carbonique ; cet acide dissout le fer, si généralement répandu dans les roches de tous les âges, après l'avoir préalablement ramené à l'état de protoxyde. Ces combinaisons solubles, une fois formées, sont emportées par les eaux, jusqu'à ce que, subissant le contact de l'air, elles se précipitent par suite

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'une suroxydation ; de là, la deuxième phase de cette intéressante formation.

CHAPITRE V.

MINERAI DES MÉTAUX AUTRES QUE LE FER.

§ 1. — Minerais de zinc.

Les deux principaux minerais qui servent à l'extraction du zinc sont : la *calamine*, qui consiste, en général, en un mélange de carbonate et de silicate hydraté, et la *blende*, qui est le sulfure du métal.

Quand ces minerais se rencontrent en masses exploitables, ils constituent, le plus ordinairement, des gîtes distincts. La blende se trouve plus ordinairement en filons, comme les minerais sulfurés de plomb et de cuivre, auxquels elle est fréquemment associée. Quant aux principaux dépôts de calamine, ils sont en amas ou en couches, le plus souvent associés, dans les terrains de différents âges où on les rencontre, au calcaire et à la dolomie.

Toutefois, ces deux minerais sont quelquefois associés l'un à l'autre. D'une part, comme il arrive en général dans les filons sulfurés qui, près des affleurements, renferment les mêmes métaux à l'état de combinaisons oxydées, les crêtes des filons présentent souvent de la calamine, par exemple à Seintein, dans l'Ariége. D'autre part, et ce second cas est très-remarquable au point de vue de l'origine des gîtes métallifères, des amas de calamine, poursuivis dans la profondeur, présentent de la blende, qui en constitue comme la racine. Ce commencement de transformation a été reconnu, dans différents pays, depuis que les travaux gagnent en profondeur, et, en particulier,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en Belgique: les échantillons exposés suffisent pour faire comprendre cette transition.

La blende, longtemps négligée, est maintenant extraite sur beaucoup de points, depuis qu'on est parvenu à la griller avantageusement. Elle contribue ainsi à rendre exploitables certaines mines de plomb, dans lesquelles elle est disséminée et qui avaient été abandonnées.

France. — Des minerais de zinc, calamine et blende sont connus sur différents points de la France, notamment aux environs d'Alais (Gard), de Figeac (Lot), de Scintein, près d'Aulus (Ariége), et de Pierrefite (Hautes-Pyrénées), dont provient un bloc de blende massive pesant 1,800 kilogrammes, exposé par M. le marquis de Querrieu; enfin de Pontpean, près de Rennes, où la blende est remarquablement riche en argent, dans la proportion de 50 à 60 francs par tonne. Cette dernière mine a fourni, en 1864, 954 tonnes de blende, d'une valeur de 119,960 francs.

Belgique. — Le gîte de Welkenraedt, situé à 7 kilomètres de l'amas bien connu de la Vieille-Montagne, et encaissé dans le calcaire dévonien, se compose des deux espèces de minerai: 1° une partie oxydée, composée principalement de calamine, qui occupe généralement le contact du calcaire; 2° une partie sulfurée, formée de galène, de blende et de pyrite, en contact avec le schiste. Ces derniers sulfures se présentent avec une structure concrétionnée et forment des couches concentriques successives qui rappellent, de la manière la plus caractéristique, les dépôts produits par les sources thermales. La calamine très-ferrugineuse, qui occupe la surface, tend, déjà à la profondeur de 60 mètres, à être remplacée par le fer carbonaté pyriteux.

Les gîtes des bords de la Meuse, en Belgique, et particulièrement ceux d'Engis et de Corphalie, exploités par la Société de la Vieille-Montagne, constituent des amas, au contact du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

calcaire carbonifère et du terrain houiller, ainsi que des filons qui traversent le calcaire. Ils se composent, dans la partie supérieure, de minerais oxydés ; puis, plus bas, de sulfures métalliques, qui se trouvent au-dessous du niveau naturel des eaux. Il est même possible d'observer, en petit, sur certains échantillons, ce passage des combinaisons oxydées aux combinaisons sulfurées. Comme complément de cette démonstration sur l'origine des gîtes de calamine, on voit, au milieu de ces minerais, des échantillons de fossiles du calcaire encaissant, qui sont entièrement moulés en calamine et en blende ; ce qui montre que les phénomènes qui ont précipité le minerai de zinc sont postérieurs à la formation des massifs calcaires dans lesquels ils sont enchâssés.

L'exposition du gîte de calamine, de Letmathe, en Westphalie, présente des faits entièrement semblables à ceux d'Engis : d'une part, le passage de la calamine à la blende, avec pyrite et galène, sous forme concrétionnée ; d'autre part, des exemples variés de coquilles et de coraux du calcaire encaissant, qui ont été moulés en calamine, en pyrite, en blende et en galène.

Parmi les gîtes de calamine situés aux environs de Stolberg et d'Aix-la-Chapelle, qui remplissent des fentes ou des cavités du calcaire carbonifère ou du calcaire dévonien, le plus célèbre par son importance et sa richesse est celui de la Vieille-Montagne, situé sur le territoire neutre de Moresnet. Il est représenté par des masses de calamine, de structure et de couleur très-variées, dans lesquelles se trouve parfois, outre les deux combinaisons ordinaires, le silicate anhydre ou wilhémite.

Les minerais de zinc ont été extraits en Belgique, en 1864, dans les quantités suivantes : calamine, 41,757 tonnes, blende, 16,509 tonnes.

Il est à remarquer que la calamine a considérablement diminué d'importance depuis 1850, époque à laquelle on avait extrait 62,193 tonnes ; mais il y a un rapport tout contraire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour la blende, dont le produit, en 1845, ne dépassait pas 264 tonnes, tandis qu'on le voit arrivé à 16,000 tonnes, en 1864; il a été encore plus élevé en 1860 (17,284 tonnes).

Prusse. — C'est dans une situation semblable que se trouvent, sur la rive droite du Rhin, en Westphalie, de nombreux amas zincifères, formés de blende et de calamine, près de Brilon, Plettenberg, Schwelm et particulièrement aux environs d'Iserlohn : ils sont enclavés dans le calcaire dévonien.

Les dépôts zincifères les plus importants de la Prusse sont dans la Haute-Silésie, dans le cercle de Beuthen, et particulièrement aux environs de Tarnowitz. Ils constituent des amas superposés au muschelkalk et associés à la dolomie et au calcaire. On se rend compte de la disposition de ces gîtes, tant par les minerais que par les profils détaillés qui les représentent. Ceux des mines de Scharley et d'Apfel, à l'échelle de $\frac{1}{400}$, sont particulièrement instructifs.

La production du minerai de zinc, calamine et blende, s'est élevée, en Prusse, en 1865, à 326,944 tonnes, d'une valeur de 8,448,000 francs.

La Haute-Silésie, qui fournit la plus grande partie de la calamine, a atteint son maximum de production en 1861 et 1862, ainsi qu'il résulte du tableau statistique qui est exposé. Depuis 1863, sa production faiblit. Quant à la blende, elle provient de Lautenthal, au Harz; de Bensberg, de Ramsbeck, de la vallée de la Lahn, dans le Nassau et de Stolberg, près Aix-la-Chapelle. La blende, qui, en Prusse, il y a quatorze ans, ne contribuait guère à la production du zinc que pour un trentième, en fournit maintenant un huitième.

Russie. — Le groupe d'amas de la Haute-Silésie se prolonge dans le royaume de Pologne, où on les exploite également, et où la fabrication du zinc métallique s'élève à 3,500 tonnes, d'une valeur de plus de 2 millions de francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Espagne. — Parmi les mines de calamine qui ont pris du développement dans ces dernières années, il faut citer celles de l'Espagne, que l'on exploite, particulièrement dans les Asturies, aux environs de Santander. Les riches gisements de cette dernière localité consistent, comme en Belgique et en Westphalie, en amas remplissant des poches dans des roches calcaires; mais ces roches sont jurassiques ou crétacées. Les caractères des gîtes de Santander paraissent d'ailleurs les distinguer de celui de la Vieille-Montagne, quant au mode de précipitation de la calamine. Le silicate de zinc de cette localité se présente fréquemment en masses, de structure globulaire, de couleur blanche, rappelant absolument, par leur aspect, les dépôts de même structure, mais formés de carbonate de chaux, que produisent les sources thermales de Carlsbad, en Bohême, ou de Hamman-Meskoutin, en Algérie.

On exploite, en outre, depuis quelque temps, la calamine dans le sud de l'Espagne, où elle est en amas subordonnés à des calcaires de différents étages géologiques, dans la province de Murcie, dans celle de Grenade et dans celles de Malaga et d'Alméria.

La production des Asturies en calamine calcinée qui, en 1856, n'était que de 17,000 tonnes, s'est élevée, dans chacune des années 1865 et 1866, en nombre rond, à 30,000 tonnes et, en 1867, à 35,000 tonnes, c'est-à-dire au double de ce qu'elle était en 1856.

Quant aux calamines du sud de l'Espagne, dont l'exportation était nulle antérieurement à l'année 1864, elle a été, dès cette première année, de 2,000 tonnes; puis, l'élévation du prix du minerai ayant encouragé l'extraction, on l'a portée, en 1865, à 10,000 tonnes; en 1866, à 15,000, chiffre qui paraît devoir être aussi celui de 1867.

Ces divers minerais de zinc de l'Espagne, non-seulement alimentent des usines du pays, mais aussi sont exportés en Belgique et dans la Prusse rhénane. On commence à en expédier également en Angleterre, à Swansea et à Newcastle; la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quantité expédiée dans ce pays, l'an dernier, peut être évaluée à 13,000 tonnes.

Sardaigne. — On vient tout récemment de découvrir dans l'île de Sardaigne des gîtes considérables de calamine qui constituent les affleurements ou chapeaux de filons formés, dans la profondeur, par la galène et la blende. Il est remarquable que ce minerai, quoique se montrant à la surface du sol, ait été négligé jusqu'à ce jour. Dès 1864, une société en a exporté 10,000 tonnes, et, cette année, ce chiffre sera peut-être doublé. Ce minerai est expédié en France, à l'usine de Viviers, (Aveyron), en Belgique et dans la Prusse rhénane. D'autres sociétés se disposent à exploiter ces gisements, qui ne descendent peut-être pas bien profondément, mais qui paraissent se montrer avec un assez grand développement, en longueur et en largeur.

Italie. — Dans la péninsule italique, on exploite un minerai de zinc bien peu important, mais que nous citons à cause de son gisement, qui appartient au trias et est associé à une dolomie, de même que les gisements de zinc de la Silésie et beaucoup d'autres épanchements métallifères. On l'exploite à Argentina, commune d'Auronzo, qui n'a produit que 282 tonnes de calamine, d'une valeur de 10,000 francs.

Angleterre. — Le bas prix du zinc a fait abandonner certaines exploitations de calamine de l'Angleterre qui n'étaient plus productives. C'est la blende qui forme aujourd'hui le principal minerai de ce pays.

La quantité totale extraite en 1866 a été de 12,969 tonnes, d'un rendement moyen de 25 pour 100 et d'une valeur de 1,066,625 francs. Cette blende provient surtout de l'île de Man (4,960 tonnes), de onze comtés, en tête desquels figure le Denbigshire, le Flintshire et le Cornwall. La blende est également exploitée en Irlande, dans le comté de Tipperary, qui ne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

figure, dans la dernière année, que pour 676 tonnes, mais qui, en 1864, avait produit 3,500 tonnes.

Suède. — Nous devons citer, en Suède, le gîte de blende massive, exploité près d'Askersund, sur le lac Vettern, par la Société de la Vieille-Montagne.

Dans cette localité, le gîte forme une masse non interrompue, sur 3,500 mètres de longueur et avec une puissance qui varie de 1 à 15 mètres. Il est aujourd'hui bien reconnu et, depuis 1857, il a donné lieu à des travaux considérables. La Société a installé sur ces mines un grand atelier pour le broyage, le triage et le grillage de la blende. Un chemin de fer de 11 kilomètres, desservi par une locomotive, relie ces mines au petit port voisin sur le lac; le minerai est ensuite transporté par bateaux à vapeur jusqu'à Gothenbourg, d'où il arrive sur le continent. Cette exploitation a fourni, en 1866, 12,000 tonnes de blende préparée et grillée; elle occupe 730 ouvriers.

Observations sur les gîtes de minerai de zinc. — Les observations auxquelles a conduit plus haut l'examen des minerais de zinc, éclairent la manière dont les minerais des gîtes métallifères ont été apportés des régions profondes du globe. Elles n'ont pas seulement un intérêt théorique, mais elles conduisent à des considérations, d'une utilité pratique, sur la continuation, dans la profondeur, des amas calaminaires et autres analogues. On voit ainsi comment des gîtes, d'apparence superficielle et dont la formation se rapproche de certaines roches stratifiées, se transforment, plus bas, en des gîtes sulfurés, qui, au contraire, se rapportent tout à fait au type des filons.

Ces considérations s'appliquent également aux amas de minerai de fer oxydé hydraté, qui sont en relation intime avec les gîtes calaminaires, aussi bien en Belgique qu'en Silésie et ailleurs. Au même titre que les gîtes de calamine, dont ils ne peuvent être séparés dans leur mode de formation, ces amas ferrugineux sont visiblement des produits d'émanations

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

partant de la profondeur, aussi bien que les masses pyriteuses, auxquelles ils passent en s'approfondissant.

§ 2. — Minerais de nickel et de cobalt.

Les minerais de nickel, compagnons habituels des minerais de cobalt, ont longtemps été abandonnés parmi les déblais de l'exploitation, comme produits inutiles, tandis que ces derniers étaient très-recherchés. Le rôle est aujourd'hui interverti, depuis que, d'une part, le nickel a trouvé des emplois importants et que, d'autre part, la découverte de l'outremer artificiel a réduit la consommation du cobalt.

En France, on peut citer la mine de Chalanches, dans le département de l'Isère, qui a donné lieu à des travaux assez étendus dans le siècle dernier, et qui, récemment, a été l'objet de nouvelles explorations. L'argent, y est accompagné de nickel et de cobalt, ainsi qu'à Sainte-Marie-aux-Mines (Haut-Rhin) et dans d'autres contrées.

Parmi les minerais de nickel présentés à l'Exposition, nous signalerons ceux que produisent, en Prusse, les exploitations de schiste cuivreux du Mansfeld, particulièrement dans les districts de Sangerhausen et Riechelsdorf, ainsi que ceux qui se trouvent, avec le cobalt, en filons aux environs de Müsen (11 tonnes pour les deux pays).

Ceux de la province de Suze, en Piémont, proviennent également de filons, de même que ceux de l'Erzgebirge, en Saxe.

A Dobschau, en Haute-Hongrie, le cobalt et le nickel sont arrivés, en même temps que le cuivre et le fer, à la suite de roches éruptives, diorites et serpentines. Cette localité a produit 2,800 tonnes de minerai, avec un minimum de 13 pour 100 de nickel et de 13 pour 100 de cobalt, en même temps que d'autres de moindre richesse (450 à 900 tonnes), que l'on traite à part.

Le nickel est également extrait de la pyrite de fer magnétique

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ou pyrrhotine, qui renferme souvent des quantités variables et ordinairement faibles de ce métal.

On rencontre cette pyrite nickelifère dans de nombreuses localités, par exemple dans les Alpes italiennes (Locarno), dans la vallée de Sesia, où elle contient également du cuivre et un peu de cobalt, et dans des conditions qui en rendent le traitement difficile; à Ivrée, Varallo, Brescia; dans le Nassau; en Écosse, dans le comté d'Argyle.

Les deux usines de Suède qui s'occupent de l'extraction du nickel, Sagmyra et Klefva, ont fourni 19 tonnes; on a, en outre, vendu 63 tonnes de minerai de nickel.

La Norwége, et principalement Ringerige, près de Christiania, a produit 125 tonnes.

Le même minerai est exploité aux États-Unis, dans l'État de Pensylvanie, à la Gap Mine; dans cette dernière localité, il est accompagné de nickel sulfuré ou millérite, ainsi qu'on le voit par la collection exposée.

La pyrite de fer que l'on exploite au Canada, à Elisabethtown, près Brockville, pour l'expédier aux États-Unis, renferme, au moins en certaines parties du gisement, 5 ou 6 millièmes de cobalt, dont on n'a tiré jusqu'à présent aucun parti.

On a continué à exploiter les minerais de cobalt arsénio-sulfurés qui, en Norwège, aux environs de Skutterud, imprégnent le gneiss en faible quantité, mais sur des zones très-étendues; ils figurent à l'Exposition. Ces mines sont devenues peu productives; les 30 tonnes de minerai qu'on en a extrait, ont été importées en Angleterre; 15 tonnes d'arsenic ont été recueillies à la suite du traitement.

Quant aux mines de cobalt de la Suède, anciennement connues à Vena et à Tunaberg, elles ne donnent plus que de très-faibles produits.

Des minerais de cobalt sont répandus dans toute l'étendue du Chili, depuis les environs de Santiago jusqu'au nord du désert d'Atacama. Ils accompagnent tantôt les minerais de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cuivre, tantôt les minerais d'argent; mais on n'en a pas encore trouvé en quantité assez considérable, pour qu'ils puissent faire l'objet principal d'une exploitation. Toutefois, on en a exporté, du Chili, en 1866, 37 tonnes pour l'Angleterre : ce minerai avait été recueilli dans de nombreuses mines et d'une manière accessoire.

Des découvertes récentes de nickel, faites dans la région littorale du désert d'Atacama, donnent l'espoir d'arriver aussi à extraire ce métal avec profit.

Un autre nouveau gisement de cobalt a été récemment rencontré dans le Caucase, à 40 kilomètres de Jélisabetopol ; ses produits sont exportés à une usine d'Allemagne.

§ 3. — Minerais d'étain.

France. — La France possède, tant en Bretagne qu'en Limousin, des gîtes d'étain, qui, à diverses reprises, ont attiré l'attention. Dans cette dernière contrée, il en est qui sont, en ce moment, le but de nouvelles recherches et qui sont représentés à l'Exposition par de nombreux échantillons.

L'une des exploitations de l'antiquité, celle de Montebras, dans la Haute-Vienne, dont il a été question dans l'introduction historique, est l'objet de travaux commencés en 1865, qui se poursuivent activement. D'autres recherches de minerai d'étain ont été reprises, dans le même département, aux environs de Vaulry. Les alluvions de diverses vallées renferment du minerai d'étain, auquel se trouve fréquemment associé de l'or en proportion notable, sous forme de paillettes tantôt libres, tantôt renfermées dans des cristaux d'étain oxydé. Les travaux de recherche ont aussi porté sur des filons où l'on trouve le minerai d'étain avec ses compagnons ordinaires, le wolfram et le mispickel, dans la roche connue sous le nom de greisen.

L'abondance du wolfram, dans certains filons du groupe stannifère, à Saint-Léonard, a donné l'espoir de tirer parti de ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

minerai de tungstène, s'il trouvait des débouchés plus étendus.

La présence récemment observée de l'étain oxydé dans les gîtes de kaolin des Colettes, près Lalizolle, montre que la région stannifère du plateau central s'étend jusque dans le département de l'Allier.

Iles Britanniques. — Les principales exploitations d'étain de l'Europe, celles de Cornwall et du Devonshire, ne sont pas représentées à l'Exposition par leurs minerais. Il convient toutefois de dire qu'elles ont produit, en 1866, 15,080 tonnes de minerai, d'une valeur de 18,300,000 francs, qui ont rendu 9,990 tonnes d'étain métallique.

Par suite de la diminution du prix de l'étain, la valeur du minerai a, elle-même, baissé notablement; ainsi, la tonne de minerai qui, en 1856, valait 1,775 francs, et, en 1861, 1,565 francs, était descendue, en 1865, à 1,390 francs, et, en 1866, à 1,202 francs, le prix le plus bas où il soit arrivé dans cette période. La faiblesse de ce prix a amené, pour les mines d'étain du Cornwall, un état de détresse qui ne paraît pas être à son terme. Cependant, tandis que la production des mines de cuivre de la même contrée diminue très-notablement, celles des mines d'étain, de 1855 à 1866, s'est accrue de 66 pour 100. En 1866, le nombre des mines d'étain en activité était encore, dans le Cornwall et le Devonshire, de 165, dont 139 en Cornwall.

Saxe et Bohême. — Bien que les gîtes stannifères soient assez nombreux dans la chaîne de l'Erzgebirge, tant en Saxe qu'en Bohême, et qu'ils présentent, ainsi que ceux du Cornwall, un très-haut intérêt, au point de vue de leur constitution et de leur origine, ils ne produisent qu'une quantité incomparablement moindre de minerai d'étain. La production de la Saxe a été de 76 tonnes, d'une valeur de 193,800 francs; celle de la Bohême, correspond seulement à 21 tonnes d'étain métallique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Espagne. — Le minerai d'étain se rencontre sur d'assez nombreux points en Espagne, dans la province de Galice et dans la province de Tras-os-Montes, comme en Portugal, et les Romains l'y ont même exploité ; cependant on ne l'extrait, aujourd'hui, qu'en quantité très-faible. Le minerai d'étain exploité en Galice, dans la province d'Orense, près de Ribadavia, dans les *Medina-United-Mines*, consiste en un quartz blanc, parsemé de mica, avec de gros cristaux de cassitérite, qui rappelle tout-à-fait l'un des types fréquents dans les filons d'étain, et particulièrement celui de la Villeder, dans le Morbihan.

Les anciens, si habiles dans la découverte et dans la recherche des minerais métalliques, exploitaient, en outre, l'étain dans les Asturies.

Asie. — Sur l'autorisation du gouvernement des Indes orientales néerlandaises, le service des mines de ces colonies adresse une nombreuse collection, montrant toutes les roches auxquelles le minerai d'étain est associé, dans les îles de Banca et dans neuf districts de ces îles, dans l'île de Billiton ou Blitong, dans sept des îles de l'archipel de Riouw-Lingga, enfin dans le territoire de Siak. C'est sans doute la première fois que l'on peut étudier ainsi, en Europe, ces gisements de la région méridionale de l'Asie, si remarquables non-seulement par leur richesse, mais par l'étendue considérable sur laquelle ils se rencontrent.

En effet, le minerai d'étain se montre, en outre, dans l'île de Sumatra, en différents points des côtes orientale et occidentale, ainsi que dans la péninsule de Malacca, sur la côte occidentale, jusque dans la province anglaise de Tenassirim. Ces diverses contrées, dans lesquelles l'oxyde d'étain paraît se montrer partout, associé aux roches granitiques et dans les mêmes conditions géologiques, constituent une longue bande, d'un développement linéaire d'environ 10 degrés de latitude et d'une longueur de plus de 200 myriamètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La production de cette région méridionale de l'Asie est très-élevée. En 1866, les exploitations de Banca ont livré 5,362 tonnes d'étain métallique ; celles du Détroit 5,254 tonnes du même métal. Le port seul de Londres a reçu, dans cette même année, 4,400 tonnes d'étain, tant de Banca que du Détroit.

Bolivie et Mexique. — La Bolivie, d'où l'on exporte, depuis quelque temps, des quantités notables de minerai d'étain, n'a pas figuré à l'Exposition, non plus que les provinces du Mexique, qui paraissent renfermer abondamment ce même minerai, mais où il est à peine exploité.

États-Unis. — On a récemment rencontré le minerai d'étain en Californie, dans l'Orégon, et surtout dans le Missouri, où, d'après le docteur Koch, il constitue des filons traversant le granite, en même temps qu'il est disséminé dans les alluvions.

Australie. — L'étain oxydé, qui se trouve sous forme de sable noir, en Australie, dans la province de Victoria, et particulièrement dans le district de Beechworth, commence à être recueilli depuis peu d'années. Il est fondu, tant en Australie qu'en Angleterre, à Swansea. Antérieurement au 1er janvier 1865, on en avait exporté 2,364 tonnes, d'une valeur de plus de 2,600,000 francs; en 1865, on en a extrait 150 tonnes. L'étain oxydé est accompagné de divers minéraux, quartz, tourmaline, zircon, pléonaste, ilménite, etc. On n'a pas encore trouvé les filons stannifères dont proviennent ces abondants débris ; ce qui n'est pas étonnant, si on sait combien certains minerais d'étain sont difficiles à reconnaître, même par ceux qui ont une certaine habitude des minéraux.

Des sables stannifères, tout semblables à ceux de Victoria, et provenant sans doute de gisements analogues, qui sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

également exposés, ont été récemment rencontrés dans la Nouvelle-Galles du Sud.

§ 4. — Minerais d'antimoine.

Dans trois départements de la France, la Haute-Loire, le Cantal et la Corse, on exploite l'antimoine sulfuré; mais l'extraction totale n'a été, en 1864, que de 126 tonnes, d'une valeur de 15,133.

En Toscane, on connaît plusieurs gisements d'antimoine sulfuré, dont quelques-uns sont encaissés dans le terrain tertiaire éocène et qui sont remarquables par leur pureté, leur âge récent et leur mode de formation; mais leur production est aussi faible que celle de la France.

L'Autriche a fourni, en 1865, 397 tonnes d'antimoine métallique.

L'exposition du Canada présente de l'antimoine natif d'une beauté remarquable, et aussi à l'état de sulfure. Il n'est pas exploité.

Depuis quelques années, l'antimoine arrive, en quantité assez considérable, de Bornéo et des Indes.

Il importe de mentionner la découverte qui a été faite de ce métal, dans la province de Victoria, particulièrement à Meathcote. Il est à l'état de sulfure et quelquefois aussi à l'état d'oxyde; la quantité d'or, qui s'y trouve mélangée, est assez abondante pour que ce métal en soit extrait, à la suite d'un bocardage. Antérieurement au 31 décembre 1865, on avait déjà extrait 2,114 tonnes du minerai.

§ 5. — Minerais de cuivre.

France. — Bien que des gîtes de cuivre soient connus dans beaucoup de régions de la France, et que bon nombre d'entre eux aient été exploités anciennement et jusque dans ce siècle, presque tous sont actuellement abandonnés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La localité de Chessy et Sainbel; près de Lyon, si connue par les beaux échantillons de cuivre oxydulé et de cuivre carbonaté bleu qu'elle a fournis à toutes les collections minéralogiques, renferme de la pyrite de cuivre, associée aux masses de pyrite de fer, que l'on exploite si activement pour la fabrication de l'acide sulfurique. Ce sont ces gîtes qui ont fourni la plus grande partie du cuivre produit par la France; en 1866, on a extrait de pyrites, traitées comme cuivreuses, 180 tonnes de cuivre de cémentation.

Il convient aussi de mentionner, surtout à cause de l'intérêt qu'elle présente, au point de vue du gisement, l'exploitation qui se fait dans le département du Var, au cap Garonne, près Toulon; elle est ouverte sur une couche de grès bigarré, imprégné de carbonate.

Un gîte semblable, situé près Saint-Avold (Moselle), a été, il y a peu d'années, l'objet de recherches qui sont aujourd'hui abandonnées.

Dans la partie de la chaîne des Alpes qui appartient au département des Alpes-Maritimes, on commence aussi à exploiter du minerai de cuivre, imprégnant également des couches de grès et de schiste rouge, dans un étage inférieur au lias, qui paraît appartenir au trias. Plusieurs de ces couches fournissent du cuivre sulfuré, du cuivre panaché, du cuivre pyriteux, et parfois même du cuivre natif, en beaux échantillons, qui rappellent ceux de l'Oural.

Parmi les gîtes de cuivre qui ont donné lieu à des explorations dans ces derniers temps, il faut encore citer ceux que renferme le département de l'Hérault, dans la région des Cévennes. Dans l'un d'eux, le filon principal de la concession de Villecelle, qui appartient à une société anglaise, et dont les minerais sont exposés, on a suspendu les travaux dans la crainte de compromettre les filons aquifères, qui donnent naissance aux sources thermales de Lamalou, situées dans le voisinage.

On peut également citer les recherches nombreuses qui sont entreprises, depuis quelques années, dans le Valgodemard

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

(Hautes-Alpes) sur des filons de cuivre pyriteux, de cuivre gris et de galène.

La Corse renferme divers gisements de cuivre qui seraient dignes de fixer l'attention, plus qu'ils ne l'ont fait jusqu'à ce jour. Les serpentines et diorites et les roches schisteuses, dans lesquelles ces roches éruptives ont surgi, renferment en Toscane des gîtes importants de cuivre pyriteux et de cuivre panaché, qui se retrouvent dans ces mêmes roches en face de Livourne et de Piombino, de l'autre côté de la mer Tyrrhénienne, dans l'arrondissement de Corte, sur le territoire Corse. Il y existe aussi divers gîtes de cuivre, qui ont été très incomplétement suivis, malgré leur belle apparence et la persévérance louable dont a fait preuve un explorateur du pays, M. Palazzi, particulièrement sur les territoires de San-Quilico, San-Lorenzo, Canovaggia, Lento, Merosuglia, Piedrigriggio, Multifao, Castifao, Vacilla.

Angleterre. — Les principales exploitations de cuivre de l'Europe, celles de la presqu'île de Cornvall et du Devonshire, ont beaucoup faibli dans ces dernières années, tant à cause de l'augmentation de frais auxquels donne lieu leur approfondissement, que de la baisse dans le prix de vente du métal.

Cependant, la production de l'Angleterre continue à être extrêmement considérable ; elle a, en effet, été, en 1866, de 180,398 tonnes de minerai, d'une valeur de 18,727,950 francs, et qui ont fourni 11,153 tonnes de cuivre, soit, en moyenne, 5,94 pour 100. Après le Cornwall, qui figure pour 103,170 tonnes, d'une valeur de 10,775,000 francs, c'est-à-dire plus des cinq neuvièmes de la quantité totale, et le Devonshire, qui en fournit plus de 34,471, d'une valeur de 3,787,000 francs, plus de un sixième vient du Cheshire, de l'île d'Anglesea et de huit autres comtés. L'Irlande a donné 14,368 tonnes, d'une valeur de 2,350,000 francs, que l'on tire des comtés de Vicklow, Cork et Waterford.

Quelque considérable que soit cette production en cuivre du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Royaume-Uni, elle est bien inférieure à ce qu'elle était en 1857, année où elle s'est élevée à 250,870 tonnes, rendant 17,375 tonnes de cuivre métallique. Depuis lors, cette production a diminué d'une manière à peu près graduelle, et celle de 1866, que nous venons de donner, est inférieure à celle de 1865, de près de 18,000 tonnes. C'est un contraste avec le développement qu'a pris l'extraction de la houille et du fer, pendant la même période.

A part le minerai des Iles Britanniques, on apporte, comme on le sait, en Angleterre de toutes les régions du globe, des quantités énormes de minerai de cuivre que l'on traite dans les gigantesques usines de Swansea. Le tableau suivant, qui fait connaître les provenances et les quantités de minerai importé en 1866, présente de l'intérêt au point de vue de l'extraction du minerai de cuivre.

Chili	24,793	tonnes.
Cuba	11,254	—
South-Australia	9,354	—
États-Unis	8,670	—
Bolivie	7,507	—
Victoria	4,530	—
Italie	4,190	—
Possessions anglaises de l'Amérique du Nord	3,488	—
Colonies anglaises du Sud de l'Afrique	4,138	—
Pérou	3,016	—
Nouvelle-Galles du Sud	3,007	—
Suède	2,095	—
France	1,879	—
Norwége	1,654	—
Portugal	1,621	—
Espagne	1,635	—
Autres pays	1,820	—
Total	94,660	tonnes.

Le Chili, qui figure en tête de cette liste pour ses importations de minerai, expédie, maintenant, une quantité bien plus grande encore de cuivre métallique, brut ou raffiné (42,441 tonnes).

Suède et Norwége. — Tandis que les mines ancienne-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment célèbres de la contrée de Fahlun sont peu productives (600 tonnes de métal), celles d'Atvidaberg, en Ostrogothie se sont développées. En outre, on connaît des gîtes étendus en Jemtland ; mais l'absence de voies de transport et la rareté de la population sont des obstacles à leur exploitation. La production de la Suède, a été, en 1865, de 1,822 tonnes en cuivre métallique ; celle de la Norwége, principalement représentée par celles de Roraas et de Kaafjord, de 480 tonnes.

Prusse.— On sait que la contrée du Hartz est, depuis longtemps, un centre pour l'extraction du cuivre, qui s'y trouve en filons et en amas dans les terrains anciens.

En outre, ce minerai est disséminé dans une couche très-régulière de schiste bitumineux fossilifère, qui contourne cette petite chaîne, et s'étend sur des distances considérables, en conservant une épaisseur constante et toujours inférieure à 0^{m} 60. Toute la partie orientale de cette couche est exploitée par une même compagnie. Outre le cuivre, que les minerais ne fournissent que dans la proportion de 1,6 à 4 pour 100 au plus, on en extrait l'argent que le cuivre tient, en moyenne, dans la proportion de 5 millièmes. A part le soufre des pyrites, dont une partie est utilisée pour la fabrication de l'acide sulfurique, on retire aussi le sélénium pour les besoins des laboratoires. Le même étage renferme, dans la partie qui s'appuie sur le versant occidental du terrain ancien du massif rhénan, des couches qui diffèrent du schiste cuivreux du Mansfeld, et que l'on parvient, malgré leur pauvreté, à exploiter dans deux localités, à Stadtberg, en Westphalie, et à Thal-Itter, province de Hesse ; elles tiennent au-dessous de 2 pour 100 de cuivre, et sont traités par la voie humide.

La production de la Prusse en minerai de cuivre a été, en 1865, de 1,433,600 tonnes, d'une valeur de 3,866,000 francs.

Il faut y ajouter pour le Hanovre, la Hesse électorale et le Nassau, en 1864, les chiffres respectifs de 73,150, 37,472 et 5,840 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Autriche. — Le cuivre brut fourni par l'Autriche, et provenant principalement de la Hongrie, a été, en 1865, de 2,890 tonnes.

Italie. — La mine de cuivre de Monte-Catini ; en Toscane, n'est pas seulement représentée par ses beaux minerais, mais aussi par une coupe instructive des travaux, qui montre comment la serpentine, à la suite de laquelle est arrivé le cuivre, a pénétré dans les couches tertiaires et les a métamorphosées en partie.

On remarque les échantillons du gîte de Sestri-Levante, près Chiavari, dans la Ligurie orientale, qui a été reconnu, il y a une quinzaine d'années ; on trouve aussi de la serpentine dans le voisinage.

Le gisement d'Agordo, en Vénétie, qui est constitué par de la chalcopyrite, disséminée dans une masse de pyrite de fer, figure également d'une manière très-complète.

Les gisements cuprifères de la vallée d'Aoste, objets d'une exploitation très-importante du temps des Romains, d'après Strabon, sont actuellement très-peu productifs.

En 1865, la quantité totale de minerai de cuivre produite par l'Italie, dans vingt-deux mines et avec 2,232 ouvriers, a été de 32,010 tonnes de minerai brut, s'élevant à une valeur de 1,551,700 francs ; près des deux tiers de cette valeur provient de la Toscane.

Espagne. — La pyrite de fer, que l'on extrait depuis quelques années, en si grande abondance, dans la province de Huelva, dans le sud de l'Espagne et dans la province d'Alemtejo, en Portugal, est mélangée de sulfure cuivreux, en proportions variables ; aussi, après qu'elle a été utilisée pour son soufre, dans la fabrication de l'acide sulfurique, constitue-t-elle un minerai de cuivre qui, malgré sa faible teneur en métal, est important, en raison de son abondance.

Portugal. — D'autres nombreux gîtes de cuivre connus en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Portugal, déjà à l'époque romaine, ont été étudiés dans ces dernières années, et quelques-uns commencent à être exploités. L'un d'eux, la mine de Palhal, dans le district d'Aveiro, a exporté, depuis 1860 inclusivement, un total de 8,500 tonnes de minerai, d'une richesse de 15 pour 100. A part l'énorme quantité de pyrite cuivreuse, provenant de la mine de San-Domingos, le Portugal donne annuellement 1,600 tonnes de minerai de cuivre.

Russie. — Les couches qu'on exploite en Russie, dans le pays de Perm, et qui se sont produites pendant la même période que la couche cuprifère du Mansfeld, dans des conditions analogues, sont également représentées à l'Exposition par leurs grès et leurs argiles, de faible teneur en cuivre, dans lesquels une certaine partie du métal est à l'état de vanadate. Les troncs d'arbres, injectés de minerai qui les accompagnent, font reconnaître, à la première vue, que ce dernier a été déposé par voie aqueuse.

La quantité considérable de cuivre que fournit la Russie (4,800 tonnes, d'une valeur de 10,400,000 francs), provient, en outre, comme on le sait, des gîtes bien connus de l'Oural et, pour une certaine quantité, de l'Altaï.

Un nouveau centre de production, remarquable par la richesse de ses minerais, est celui de la province de Kirghis, dans sa région orientale, à 70 kilomètres de l'Irtich. Les exploitants, MM Popoff, l'ont représenté par une masse de cuivre natif, ne pesant pas moins de 600 kilogrammes, sous la forme d'une grande plaque, et offrant la ressemblance la plus complète avec les masses bien connues de même nature, qui proviennent du Lac Supérieur. Cette ressemblance s'étend même jusqu'à la présence de grains d'argent pur, qui se trouvent disséminés au milieu du cuivre pur, comme si l'un et l'autre étaient le produit d'une action électro-chimique. Les mines des Kirghis, consistent principalement en combinaisons oxydées, associées au cuivre natif.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

États-Unis. — Les gîtes de cuivre des environs du Lac Supérieur, appartenant à l'état de Michigan, et bien connus par les nombreuses compagnies qui se sont organisées pour son exploitation, sont représentés par une intéressante collection minéralogique, où l'on remarque, en très-beaux cristaux, les espèces minérales qui caractérisent ces gîtes.

Leur production est évaluée à plus de 10,000 tonnes de cuivre métallique, dont la compagnie de Portage fournit près de moitié.

Les États-Unis, près des côtes de l'Océan Pacifique, et notamment la Californie, paraissent aussi richement dotés en minerais de cuivre, sur lesquels l'attention a été portée par des découvertes faites en 1855 et en 1860. L'un des principaux centres est situé à Coperopolis, ville dont les premières maisons ont été bâties en septembre 1861, dans la vallée de Salt Spring, et qui, moins de deux ans après, comptait déjà 2,000 habitants, trois écoles, deux églises, un journal et quatre hôtels. D'autres gîtes de cuivre ont été découverts dans les collines qui bordent la côte, telles que le Monte-Diablo. Ces découvertes de cuivre, faites en Californie, en ont provoqué d'autres dans les états voisins : Arizona, Nevada, Colorado, Sonora, et Basse-Californie.

Il n'y a pas une seule localité de cette région où une quantité considérable de minerai ait été jusqu'à présent rencontrée, si ce n'est dans la serpentine ou dans des roches magnésiennes, roches dont les fragments constituent sa gangue. En outre, tous les minerais de cuivre renferment une proportion notable d'or ; d'autre part les plus importants filons de quartz aurifère contiennent une quantité considérable de minerai de cuivre. D'après ces ressemblances, il est à supposer que les remplissages des filons d'or et des filons de cuivre sont en dépendance intime, et peut-être même contemporains.

Les quantités de minerai de cuivre exportées de San-Francisco, depuis 1862 jusqu'à la fin de 1866, ont considérablement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

augmenté, de 3,666 tonnes à 21,473. Tandis que la moyenne des minerais de cuivre de Cornwall est inférieure à 8 pour 100, celle des minerais de Californie paraît être d'une teneur plus élevée. Depuis 1866, on a exporté plus de 85,000 tonnes, d'une valeur au moins de 1,250 francs par tonne ; en outre, une partie du minerai est traitée dans le pays même.

Canada. — La région du Canada, située au nord du Lac Supérieur, renferme les mêmes roches que la région méridionale, appartenant au Michigan, et qui est si riche en cuivre. Comme dans ces dernières, on y trouve aussi le cuivre natif, mais on n'exploite pas ce métal.

En outre, à part ces gisements, le Canada renferme, en un très-grand nombre de localités, des couches siluriennes (groupe de Québec), dans lesquelles on rencontre du cuivre pyriteux, et quelquefois du cuivre sulfuré, sous forme de veines d'apparence contemporaine, dont l'Exposition offre de beaux échantillons. Ces gîtes n'ont été jusqu'à présent exploités que sur peu de points, tels que sur la rive nord du lac Huron, à la mine de Harvey, district de Leeds, et dans des mines du district d'Ascot, dont on expédie le minerai, tant en Angleterre qu'aux États-Unis. D'autres gîtes, d'après les études géologiques qui en ont été faites, paraissent mériter d'être mieux explorées.

Colonies Espagnoles ; Cuba et Philippines. — Dans l'exposition des colonies espagnoles, on voit les plans et les minerais des filons de cuivre, connus depuis longtemps à l'île de Cuba, et qu'une société exploite depuis 1830. Ces mines ont été importantes, car, de 1830 jusqu'au commencement de 1866, elles ont exporté 658,433 tonnes de minerai, dont la teneur moyenne, dans les 14 premières années, était de 24 pour 100, et, plus tard, est descendue à 13.6 pour 100. Le produit de la vente, pendant les 30 dernières années de cette période, s'est élevé à 157 millions de francs. L'approfondissement de ces mines, qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ont atteint maintenant 357 mètres de profondeur, l'abondance et la nature corrosive des eaux, le prix élevé des machines et la pénurie des ouvriers ont amené leur décadence, malgré bien des efforts. Toutefois, la quantité de minerai de Cuba qui est arrivée à Swansea, en 1866, s'est élevée à 11,254 tonnes.

Les îles Philippines envoient également une collection de leurs minerais, consistant en cuivre pyriteux, cuivre panaché, cuivre gris, qu'une société exploite, depuis sept ans, à Mancayan, district de Lepanto, en luttant contre les difficultés que présentent les transports.

Chili. — Malgré les découvertes récentes faites dans les pays dont nous venons de parler, aussi bien qu'en Australie, le Chili reste la contrée du globe la plus productive en cuivre. Les riches et abondants minerais, qui ont une si grande part dans la production annuelle du cuivre, sont représentés par de volumineux blocs de minerai.

Les mines de cuivre du Chili forment deux groupes : celui du Nord, comprenant les départements de Copiapo, Huasco et Coquimbo ; celui du Sud, correspondant aux provinces de Aconcagua, Santiago et Colchagua. Les plus riches et les plus abondantes de ces mines appartiennent à la province de Coquimbo, et en particulier à la montagne de Tamaya.

L'exploitation du puissant filon sur lequel sont ouvertes les principales de ces mines, qui datent de plus de cinquante ans, a produit, près des affleurements, des quantités énormes de minerais oxydés et carbonatés. Puis, quand on dépasse une profondeur de 40 à 50 mètres, on arrive au cuivre panaché, dont aucune mine du monde n'a peut-être fourni des masses aussi pures et aussi considérables. Plus bas, vers 150 mètres de profondeur, le cuivre panaché disparaît lui-même, faisant place au cuivre pyriteux, d'un titre qui dépasse presque toujours 30 pour 100 de cuivre.

Les mines de Panucillo, situées à 2 kilomètres des mines de Tamaya, sont aussi des plus productives ; car elles fournissent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

5,000 tonnes de minerai par an, et on se propose de porter bientôt cette extraction à 8,000 tonnes. Mais ici le minerai est, en général, moins riche : il est rare qu'il contienne plus de 6 pour 100 de cuivre, et il se compose ordinairement de pyrite cuivreuse, dont la gangue est une espèce de grenat amorphe, à base de chaux et de fer, et facilement fusible sans addition. Le filon de Panucillo, qui, aux affleurements, n'a qu'une épaisseur de 1 mètre, et se compose en grande partie de grenat et de spath calcaire, s'élargit considérablement dans la profondeur, jusqu'à acquérir 8 mètres et même 16 mètres de puissance, dans laquelle tout est minerai.

Les mines de Carrisal, situées à moins de 1 degré de longitude du port de Huasco, ont donné naissance, dans un pays qui était presque désert, il y a sept ans, à la création de deux grands établissements pour la fonte du minerai de cuivre, d'un port qui a maintenant 2,000 habitants, et d'une ville, la ville de Carrisal Alto, peuplée de 9,000 habitants, qui est reliée au port par un chemin de fer de 45 kilomètres.

On a récemment découvert et on exploite des mines aussi très-riches en cuivre, depuis Caldera jusqu'à Cobija, contrée d'où provient l'oxychlorure de cuivre, connu sous le nom d'atacamite.

En 1865, on a exporté, pour les valeurs suivantes, en francs :

Cuivre en barres et en lingots	31,043,260
Mattes cuivreuses	31,330,850
Minerais bruts	6,140,890
Mattes argentifères	2,022,310
Minerais de cuivre	98,585
Francs	70,635,895

On voit donc qu'on exporte maintenant beaucoup moins de cuivre à l'état de minerai qu'à l'état métallique. Plus des trois quarts du cuivre métallique sont expédiés en Angleterre ; on en envoie à peu près le quart en Allemagne, en France et aux États-Unis.

Comme autre circonstance très-heureuse que présentent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les mines du Chili, il est à remarquer que les plus importantes, celles qui fournissent plus des neuf dixièmes de ce métal, sont situées dans la région littorale, à une distance de la côte qui rarement dépasse 20 à 25 kilomètres. Elles sont, en outre, rapprochées des meilleurs ports du Pacifique : Caldera, Carrisal, Huasco, Coquimbo et Valparaiso ; déjà plusieurs de ces ports sont unis par des chemins de fer aux centres de l'industrie minérale.

Les principaux filons de cuivre de la région littorale sont encaissés dans le terrain de transition et dans les roches cristallines, principalement de nature dioritique qui l'accidentent. Leurs minerais sont ordinairement tout à fait exempts d'arsenic et d'antimoine, et ne sont pas argentifères ; mais, accidentellement, ils contiennent de l'or, dont le gisement appartient aussi au même terrain. Les minerais consistent toujours, dans la partie supérieure des filons, en carbonates, silicates, oxydes et oxychlorure de cuivre. Ils passent aux sulfures et aux pyrites cuivreuses, dans la partie inférieure des gîtes.

Il existe, en outre, plus loin de la mer, d'autres filons du même métal, encaissés dans des terrains stratifiés plus récents; ces derniers sont argentifères et mélangés de cuivre gris, de divers arséniures, de blende et de galène.

Pérou. — Ce groupe important de gîtes de cuivre se prolonge, vers le nord, dans le Pérou, et donne lieu à des exploitations. En 1866, on a expédié en Angleterre 1,360 tonnes de ce pays.

Confédération Argentine. — De très-riches minerais de cuivre se trouvent également dans la Confédération Argentine, dans la Sierra del Atajo, et sont exploités, depuis une quinzaine d'années, par MM. Lafone et Ce, à la Camarca. L'extrême difficulté des transports se trouve compensée par la richesse; on n'exploite pas de minerai qui ne rende, au moins, 20 pour 100. Les minerais consistent principalement en cuivre natif, cuivre sulfuré et cuivre oxydulé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Bolivie. — Les minerais de Bolivie, connus dans le commerce sous le nom de Corro-Corro, consistent en oxyde que l'on exporte en Angleterre et en France, pays dans lesquels il est respectivement arrivé, en 1866, 7,500 et 1,570 tonnes, ne rendant pas moins de 8 pour 100.

Cap de Bonne-Espérance. — On doit citer aussi la colonie anglaise du Cap de Bonne-Espérance, qui fournit des minerais consistant en cuivre natif, cuivre sulfuré et cuivre carbonaté, qu'elle envoie aussi en quantité notable à Swansea (4,140 tonnes en 1866).

Les gisements qu'on a signalés à Natal ne sont pas encore exploités.

Australie. — Parmi les pays privilégiés par leur richesse en cuivre, il convient de mentionner deux des colonies anglaises de l'Australie: *South-Australia* (Australie du Sud), et la Nouvelle-Galles du Sud. La seconde est représentée par de volumineux blocs de cuivre pyriteux et de cuivre oxydé noir; la première, l'Australie du Sud, à laquelle appartiennent les mines déjà bien connues de Burra-Burra, renferme de riches filons de cuivre pyriteux, de cuivre panaché et de cuivre natif, ainsi que de cuivre sulfuré et de cuivre oxydé noir. Les mines de Moonta et de Wallaroo, quoique ne datant que de cinq ans, sont arrivées à être très-productives. Une partie de ces minerais est expédiée en Angleterre, à Swansea. Le minerai de Murninnie, situé dans la même province, est caractérisé par la présence du bismuth, qui y entre dans la proportion de 5 à 32 pour 100, et dont la présence complique l'extraction du cuivre. Des photographies donnent une idée de ces exploitations lointaines et toutes récentes, qui se sont très-rapidement développées, et où les meilleurs procédés sont mis à profit.

En 1866, on a reçu en Angleterre, à Swansea, 9,354 tonnes de minerai de cuivre de *South-Australia*, 3,007 tonnes de la Nouvelle-Galles du Sud et 4,530 tonnes de la province de Victoria.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 6. — Minerais de plomb argentifère.

France. — Les filons de galène argentifère, si nombreux en France, particulièrement dans le plateau central et dans la chaîne des Vosges, ne sont exploités régulièrement que dans un très-petit nombre de localités.

L'étude approfondie qu'a faite M. Rivot, ingénieur en chef des mines, des filons de Vialas (Lozère) est d'autant plus importante que les considérations théoriques qui en résultent, pour les âges relatifs des fractures et des remplissages des filons de diverses directions, ont conduit à des conséquences fort utiles pour l'exploitation de ces filons. L'application des règles établies à Vialas a été confirmée, d'une manière très-heureuse, par les découvertes auxquelles elle a conduit dans le Rouvergue, département du Gard. Ces caractères, dont l'étude a été habilement continuée par M. Crespon, se retrouvent encore dans un grand nombre de filons analogues des départements de la Lozère, de l'Ardèche et du Gard. Ils pourront même servir de guide dans des régions encore plus éloignées.

A Pont-Gibaud (Puy-de-Dôme), où se trouve un groupe de filons depuis longtemps connu, et dont le plomb renferme de deux à quatre dix millièmes d'argent, les exploitations se sont, jusqu'à présent, arrêtées à une profondeur de 100 à 120 mètres, par suite de l'appauvrissement général qui s'est manifesté vers ce niveau. En attendant que de sérieux efforts soient tentés pour reconnaître plus profondément l'allure des filons, on a exécuté et on poursuit, à proximité de la surface, des travaux de reconnaissance, et on est ainsi arrivé à des parties qui témoignent de la richesse générale du district. Aujourd'hui, l'exploitation est rentrée dans des conditions incomparablement meilleures que précédemment.

On peut ajouter, à titre d'exemple à suivre dans certains cas, que, dans le même département, une mine s'est très-modestement établie, il y a une quinzaine d'années, sur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un filon de l'arrondissement de Thiers, à Montnebout, et on y trouve des bénéfices, grâce à la manière judicieuse dont l'exploitation est dirigée.

Les gîtes bien connus de Pesey et de Mâcot, dans le département de la Savoie, ont donné lieu à d'importants travaux, qui sont suspendus depuis peu de temps.

Le filon du Grand-Clot, dans le département de l'Isère, actuellement l'objet de travaux, se présente dans des circonstances tout à fait exceptionnelles et extrêmement caractéristiques pour l'étude de la constitution et de l'origine des filons métallifères. Il est, en effet, coupé par la vallée de la Romanche, en aval du bourg de la Grave, sur une paroi abrupte et à peu près verticale, dont la hauteur au-dessus du torrent est de plus de 600 mètres. Il montre donc, même à ciel ouvert, un exemple des plus significatifs de continuité dans le sens de la profondeur. En même temps, il offre pour l'exploitation des conditions particulières. La méthode d'abattage par le feu, qui remonte à une antiquité reculée et qui n'était, pour ainsi dire, plus employée, sauf au Rammelsberg, au Hartz, est cependant mise à profit pour l'exploitation du filon du Grand-Clot, et avec des perfectionnements qui font espérer qu'elle peut encore être employée avec succès dans certains cas, surtout sur les parties à gangue quartzeuse. Le filon est chauffé non-seulement avec du bois, mais aussi avec de la houille flambante; cette dernière est placée dans une sorte de cornue portative.

Non loin des mines du Grand-Clot, dans la même commune de la Grave, on a découvert, il y a dix ans, un filon qui coupe les calcaires du lias, superposés au gneiss, et dont le minerai présente l'association, assez rare, de la galène avec des arseniosulfures de nickel et de cobalt. Ces minerais, très-argentifères, sont l'objet d'une exploration active.

A l'Argentière, non loin de Briançon (Hautes-Alpes), on exploite un filon, encaissé dans des quartzites, que l'on rattache au trias.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le département du Gard, à Carnoulès, une couche de poudingue quartzeux, appartenant aussi au grès bigarré, qui est imprégné de galène, est tout à fait analogue, dans sa disposition générale, au gîte de Bleyberg, près de Commern, en Prusse, dont il sera question plus loin.

La quantité de galène extraite en France, en 1864, s'est élevée à 95,286 tonnes, d'une valeur de 3,099,190 francs. Sur cette valeur totale, le Puy-de-Dôme (Pont-Gibaud) figure pour plus du tiers. Puis viennent le Gard, l'Ille-et-Vilaine (Pontpéan), le Finistère, les Hautes-Alpes (l'Argentière), la Corse, l'Aveyron (Villefranche), la Savoie, l'Ariége (Scintein) et le Rhône.

Algérie. — On doit mentionner deux exploitations de galène argentifère dignes d'intérêt : l'une dans la province de Constantine, à Kef-Oum-Theboul, près la Calle ; l'autre dans la province d'Oran, à Gar-Rouban, sur la frontière marocaine. Leurs produits et leurs plans sont exposés.

Angleterre.—La galène argentifère est exploitée sur un grand nombre de points de l'Angleterre. Parmi les 21 comtés et les mines, au nombre de 336, qui la fournissent, le Durham et le Northumberland occupent la première place. Les importantes mines qu'exploite lord Beaumont sont représentées par les plans et coupes des filons, ainsi que par toute une collection des minerais qui s'y rattachent. Viennent ensuite le Yorkshire, le Cornwall, qui a aussi conquis, assez récemment, une place, comme producteur de plomb, le Derbyshire, le Cumberland, le Cardiganshire, le Denbygshire et le Flintshire.

La production de minerai de plomb de l'Angleterre a été, en 1866, de 91,047 tonnes, ayant une valeur de 20 millions de francs, et qui ont produit 67,390 tonnes de plomb. On a en outre extrait de ce plomb 19,737 kilogrammes d'argent : ce qui correspond, pour le plomb, à une teneur de vingt-huit millionièmes.

Malgré la concurrence étrangère, l'extraction en Angleterre du plomb s'est accrue, depuis 1855, de 3 pour 100.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Belgique. — Le gîte de plomb de Bleyberg-à-Montzen, près de Verviers, est d'une richesse tout à fait remarquable. Il se compose d'un filon de galène et de blende, traversant le terrain houiller, ainsi que d'un épanchement très-important de galène, qui a été reconnu à la séparation du terrain houiller et du calcaire carbonifère. Ces exploitations se distinguent aussi par de nombreux travaux d'art, qui avaient pour but de surmonter de grandes difficultés, et notamment par une canalisation imperméable des lits des rivières et des ruisseaux qui coulent dans le périmètre des concessions. La quantité d'eau qu'elles ont à épuiser, d'une profondeur de 120 mètres, varie de 25,000 à 32,000 mètres cubes par jour. Les machines d'épuisement, au nombre de quatre, réunissent une force effective de plus de 2,000 chevaux. Cette mine a fourni la plus grande partie de la galène qui a été produite par la Belgique, quantité qui, en 1864, a été de 16,780 tonnes.

Ce n'est que dans ces derniers temps que la galène a pris, dans l'industrie minière de la Belgique, une place importante. En 1841 on n'en avait extrait que 34 tonnes.

Prusse. — Comme minerai de plomb, celui de Bleyberg, près de Commern, en Prusse Rhénane, attire le regard par la singularité de son aspect; c'est, comme on sait, un grès ou un poudingue quartzeux, imprégné de galène, et constituant des couches dans le grès bigarré. Ce grès plombifère ne rend en moyenne que 2 pour 100; mais il atteint une épaisseur de 40 mètres, sur laquelle il peut être exploité généralement à ciel ouvert. Déjà exploité dans l'antiquité romaine, le gîte de Commern a surtout acquis une grande importance depuis 1852, époque à laquelle on a adopté le mode d'exploitation actuel. Il constitue aujourd'hui le gisement de plomb le plus productif de la Prusse.

La Prusse a produit, en 1865, 57,808 tonnes de minerai de plomb, d'une valeur de 10,289,700 francs. Il faut ajouter que le Hartz, appartenant au Hanovre, qui n'est pas compris dans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cette production, a fourni, en 1864, 101,411 tonnes, c'est-à-dire une quantité presque double de la Prusse entière, et le Nassau, 6,663 tonnes.

Autriche. — On voit également représentés les minerais de plomb argentifère de l'Autriche, qui appartiennent principalement à la Bohême (Przibram) et la Hongrie. Elles ont produit, en 1865, à part l'argent, 5,081 tonnes de plomb et 727 tonnes de litharge.

Espagne. — Le plomb est le plus abondant de tous les produits minéraux de l'Espagne, qui cependant renferme tant d'autres ressources dans son sol. Aucune autre contrée de l'Europe n'en approche pour l'importance de l'extraction de ce métal, qui provient principalement des provinces d'Almeria, de Murcie et de Jaen. Le filon de Linarès, qui appartient à cette dernière, a une puissance qui dépasse 3 mètres; l'extraction actuelle, qui est de 3,357 tonnes, pourrait être beaucoup plus forte. La production totale s'est élevée, en 1863, à 309,940 tonnes, d'une valeur de 23,538,000 francs.

Italie. — C'est la Sardaigne, déjà si connue des Grecs et des Romains par sa richesse en argent et en plomb, qui, aujourd'hui encore, forme la principale région de l'Italie pour l'extraction de ces métaux; l'exploitation, après avoir été abandonnée pendant des siècles, a de nouveau attiré l'attention dans ces dernières années. Les études auxquelles elles ont récemment donné lieu, de la part de M. Léon Gouin, ingénieur civil des mines, méritent d'être mentionnées. Le remarquable et beau filon de Montevecchio, dans le district d'Iglesias, sur lequel sont ouvertes les mines de Montevecchio, Ingurtosu et Gennamari, est connu sur une longueur de plus de 10 kilomètres. Nous citerons également les mines de Monteponi, connues des minéralogistes par les magnifiques cristaux de plomb carbonaté et de plomb sulfaté

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'elles fournissaient en abondance, près des affleurements.

La production de l'Italie a été de 16,047 tonnes de minerai de plomb, d'une valeur de 2,935,285 francs, obtenus avec 2,980 ouvriers ; les sept huitièmes environ proviennent de l'île de Sardaigne et un dixième de la Toscane.

Grèce. — Les scories que les anciens ont produites à la suite de leur traitements métallurgiques sont quelquefois assez exemptes de métal et témoignent de leur habileté. Ainsi certaines scories de cuivre ne renferment pas au delà de 1.5 pour 100 de métal. Mais l'opération n'a pas toujours été aussi habilement conduite; déjà on a exploité comme minerai, dans diverses contrées, particulièrement en Espagne, près de Carthagène, et en Sardaigne, des scories contenant du plomb et de l'argent.

Ces anciennes scories ont été bien rarement rencontrées avec autant d'abondance qu'en Grèce et dans la partie de l'Attique appelée le Laurion. Elles forment des monceaux considérables, répartis sur de nombreux points, et l'on n'évalue pas la totalité de ces masses à moins de 3 millions de tonnes. La teneur de ces scories en plomb varie de 5 à 18 et moyennement est de 10 pour 100. Ce plomb renferme, à peu près constamment, de 3 à 4 millièmes de son poids d'argent. En outre, on a trouvé dans les déblais plus de 500,000 tonnes de galène argentifère, qui avait été abandonnée comme étant trop pauvre. Une compagnie française, qui s'est constituée pour exploiter cette prodigieuse accumulation des scories, vient de construire, non loin de Thèbes, à Égasteria, une très-vaste usine, où l'on se propose de traiter, annuellement, environ 100,000 tonnes de scories.

Chili. — La mine de plomb du Chili connue sous le nom de Mina-Grande, située près de Coquimbo, est connue par son extrême richesse; elle présente cette particularité, qu'elle produit du plomb vanadaté, mélangé d'autres sels oxydés de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plomb, parmi lesquels on a cité un oxychlorure de plomb renfermant de l'iode.

Etats-Unis. — Dans le terrain silurien (étage du grès de Postdam), des couches de dolomie, dans les États de Missouri et d'Arkansas, renferment de la galène, accompagnée parfois de minerai de cobalt. Le groupe de l'Illinois et du Visconsin, plus connu encore par sa richesse, appartient également au terrain silurien, mais à un étage un peu supérieur (Trenton). Ces gîtes importants du haut Mississipi sont répartis sur une étendue qui n'a pas moins de 112 kilomètres sur 86. De même que les précédents, ils ne sont pas postérieurs aux couches qui les renferment, mais ils ont été précipités en même temps. Par leur constitution, comme par leur richesse, ils rappellent les gisements de la Sierra de Gador, en Espagne.

Des blocs de galène, terminés par de volumineux cristaux, sont les représentants de ces riches gisements dont on évalue la production à 20,000 tonnes; mais ils ne sont pas exploités comme ils pourraient l'être, parce que la population trouve ailleurs un emploi plus lucratif de ses forces.

§ 7. — Minerais de mercure.

Espagne. — Les exploitations depuis longtemps célèbres d'Almaden, dans la province de Ciudad Real, quoiqu'elles datent de trois siècles avant notre ère, attestent la richesse permanente de leurs minerais par une série de volumineux blocs de cinabre massif. Les découvertes qui ont été faites en Californie ne l'empêchent pas de rester au premier rang. Leur production, qui était, en 1863, de 11,326 tonnes, d'une valeur de 3,471,000 francs, a atteint, en 1865, 14,060 tonnes. Elle pourrait s'élever encore, si les besoins l'exigeaient.

Les mines de la province d'Oviédo, non loin de la ville de Mierès, dans le terrain carbonifère, et que les Romains exploitaient déjà, sont loin d'avoir la même importance (300

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tonnes). Le cinabre imprègne le conglomérat carbonifère, sous forme de veines, où il est associé à la pyrite de fer et au mis-pickel. Le gîte dont il s'agit présente cette particularité que le cinabre qu'on en extrait est mélangé d'une forte proportion de sulfure rouge d'arsenic (réalgar); ce dernier minéral s'y trouve en assez grande quantité pour que les cols des cornues de distillation soient obstrués par l'arsenic métallique.

L'arsenic, dont la présence a été signalée il y a vingt ans comme fréquente dans la houille et les autres combustibles minéraux de contrées très-diverses, se trouve également dans la houille de cette même contrée et en forte proportion. Les mineurs sont très-sensiblement incommodés par les émanations arsénicales, quand la ventilation des galeries n'est pas très-active.

Quoique les exploitations de mercure de l'Europe, en dehors de celles de l'Espagne, soient bien peu importantes, il convient d'autant plus de les mentionner qu'elles sont représentées à l'Exposition.

Prusse. — Les anciennes mines de mercure du Palatinat (Bavière Rhénane), dont les beaux échantillons d'amalgame cristallisé figurent dans les collections, ne sont pas les seules que l'on connaisse dans les contrées rhénanes. Des filons de cinabre sont connus sur la rive droite du Rhin, traversant le terrain dévonien et le terrain carbonifère inférieur, sur des points assez distants. Leur nombre s'est accru dans ces derniers temps, par la découverte d'un gîte, maintenant exploité, près d'Olpe. La production de la Prusse, en 1865, a été de 265 tonnes de minerai, d'une valeur de 8,300 francs.

Autriche. — Le cinabre, qu'on trouve dans des couches, a Idria, en Carniole, a rendu, en 1865, 235 tonnes de mercure métallique.

Italie. — Le mercure est exploité aussi en Toscane, à la mine du Siele, près Castelazara, dont l'extraction s'est élevée,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en 1864, à 300 tonnes de minerai, rendant 2 à 2.5 pour 100 de mercure, soit en tout 6,000 kilogrammes. Un échantillon montre la manière dont le cinabre imprègne les schistes cristallins dans ce gisement.

On voit aussi figurer le mercure d'Agordo, en Vénétie; le cinabre mélangé à la pyrite est irrégulièrement disséminé dans le schiste talqueux. On a extrait, en 1864, 44 tonnes de ce minerai.

Chili. — Le mercure, quoique répandu au Chili dans de nombreuses localités, n'y est pas l'objet d'une extraction régulière.

Pérou. — Jusqu'en 1855, la province de Huancavelica, au Pérou, a été la source principale du mercure pour le continent américain. La plus grande mine, celle de Santa Barbara, exploitée depuis 1570, avait donné, dans les siècles suivants, une production annuelle de plus de 6,600 tonnes, qui s'est longtemps soutenue. Aujourd'hui, cette production du Pérou en mercure a très-considérablement faibli, à la suite de l'ouverture des mines du même métal en Californie.

Mexique. — Les minerais de mercure connus au Mexique sont à peine mis à profit.

Californie. — Les gîtes découverts en Californie sont situés dans la région littorale du Pacifique. Les plus importants, ceux de New-Almaden, traversent des couches qu'on rapporte au terrain crétacé, et sont avoisinés par des serpentines. Depuis 1851, la Californie n'a plus reçu de mercure de l'étranger, et, au contraire, elle exporte maintenant des quantités considérables de ce métal, principalement en Chine, ainsi qu'au Mexique et dans l'Amérique centrale. Toutefois, l'irrégularité des gîtes rend l'exploitation difficile à New-Almaden. D'autres filons de mercure sont également connus en Californie et ont donné lieu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aux mines de Enriquetta et New Idria; ces derniers sont incomparablement moins importants.

La production des mines de New Almaden, du 1er juillet 1850 au 31 août 1863, c'est-à-dire pendant dix ans et onze mois, déduction faite des deux années pendant lesquelles la mine a été fermée, par suite des procès auxquels elle donnait lieu, a été de 51,156 tonnes de minerai. Le minerai, d'un rendement moyen de 22.20 pour 100, a produit 11,758 tonnes de mercure. Depuis novembre 1863 à la fin de 1864, l'extraction a été de 9,618 tonnes de minerai, qui ont fourni 1,615 tonnes de mercure; le rendement moyen a été de 16.5 pour 100. La production s'est élevée en 1865, et a été de 16,000 tonnes, d'un rendement moyen de 12.43 pour 100 et ayant donné 1,998 tonnes de mercure. Pendant les dix premiers mois de 1866, elle a été notablement plus faible.

La plus grande partie de cette quantité de mercure est exportée. La consommation de Californie était d'environ 120,000 kilogrammes, jusqu'à la mise en exploitation régulière des mines de Washoe en 1860, et, à partir de cette époque jusqu'à 1865, elle a été d'environ 180,000 kilogrammes par an.

Lorsque la mine de New Almaden commença à produire du métal, celui-ci fut mis en vente à San Francisco, au prix de 450 francs les 100 kilogrammes, afin de faire disparaître la concurrence étrangère. Le but atteint, le prix augmenta : il était de 560 francs en 1855. En 1865, les tarifs de vente étaient de 750 francs, pour l'usage local, et de 654, pour l'exportation. Ces derniers prix paraissent se maintenir.

§ 8. — Minerais d'argent.

Au point de vue de l'extraction de l'argent, l'ancien monde présente peu de faits nouveaux, et par conséquent dignes d'être signalés dans ce Rapport.

Saxe et Autriche. — La production de la Saxe a été, dans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces dernières années, d'environ 26,000 kilogrammes, d'une valeur de 4,900,000 francs. Les filons classiques de la contrée de Freyberg y contribuent pour la part principale.

L'Autriche, dont les centres d'extraction sont en Hongrie et en Bohême, a produit, en 1865, 40,850 kilogrammes d'argent.

Norwége et Suède. — Les mines d'argent qui ont fourni les plus belles masses d'argent natif de l'Europe sont celles de Kongsberg, en Norwége. Elles sont représentées par une collection, également intéressante pour le minéralogiste et le géologue, où l'on admire de magnifiques échantillons d'argent natif, cristallisé et filiforme, ainsi que de l'argent sulfuré, et quelques sulfures métalliques qui accompagnent l'argent natif. A côté des gangues de quartz et de chaux carbonatée, en cristaux extrêmement nets et élégants, on peut être surpris de trouver l'anthracite, puisque les filons sont encaissés dans le gneiss: elle est sous la forme de globules, qui annonce qu'elle a passé par l'état de mollesse.

Les mines d'argent de Kongsberg, qui, de 1859 à 1861, ont donné, en moyenne, un produit annuel de 4,451 kilogrammes d'argent, avec un bénéfice correspondant de 347,000 francs environ, n'ont fourni, pendant chacune des années 1862 à 1864, que 3,325 kilogrammes et un bénéfice de 176,000 francs. Il n'est pas sans intérêt de rappeler que depuis 1623, époque de leur découverte, les mines de Kongsberg ont éprouvé plusieurs alternatives de grands succès et de revers. Ainsi, après avoir donné lieu à une perte de plus de 2 millions, de 1815 à 1830, elles sont entrées, à partir de cette dernière époque, dans une période très-prospère.

On mentionnera ici, pour mémoire, la mine de galène argentifère de Sala, en Suède, qui figure également à l'Exposition, et a fourni, en 1865, 1,140 kilogrammes d'argent, en même temps que 480 tonnes de plomb.

Écosse. — On peut citer également les filons argentifères

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

connus en Écosse, dans l'île de Man, et dont l'exploitation s'est récemment développée, par suite de la découverte de galène et de cuivre gris, dont la teneur en argent est extrêmement élevée. La plus profonde de ces mines atteint déjà 400 mètres. Elles figurent dans la production totale de l'Angleterre, qui a été donnée plus haut, à propos du plomb argentifère, pour 4,572 kilogrammes d'argent.

Espagne. — L'Espagne, qui dans l'antiquité fournissait déjà une quantité considérable d'argent, a vu reprendre un certain nombre de ses anciennes mines. Telle est la galène argentifère de la Sierra Almagrera, près de Carthagène, qui donne jusqu'à 1 1/2 pour 100 d'argent, et qui renferme ce métal à l'état de mélange invisible. Les riches filons de cette localité sont en relation avec des trachytes, et paraissent être d'un âge géologiquement très-récent.

On mentionnera aussi les filons argentifères exploités, depuis 1844, à Hiendalaencia, sur le versant méridional de la chaîne de Guadarrama, qui fournissent, en très-beaux cristaux, le minéral sulfuré d'argent, connu sous le nom de freieslebenite.

Empire russe. — Les mines célèbres d'argent des districts de Nertschinsk et de l'Altaï, en Sibérie, sont représentées non-seulement par une suite bien choisie de minerais et des roches qui les encaissent, mais aussi par des coupes qui expriment la disposition des filons.

Récemment, on s'est mis à en extraire des minerais argentifères dans la steppe des Kirghis (Karkaralinsk).

On exploite aussi des minerais d'argent et de plomb dans le Caucase, à Alaghir.

Dans ces quatre districts, on a produit 17,678 kilogrammes d'argent, d'une valeur de 3,400,000 francs; sur ce chiffre, la production de Nertschinsk figure pour 17,123 kilogrammes, celle de l'Altaï pour 123 kilogrammes seulement; quant au plomb extrait des mêmes mines, il ne s'est élevé qu'à 1,195 tonnes, d'une valeur de 580,000 francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'Amérique, connue depuis la conquête espagnole par sa richesse en argent, a encore révélé, dans ces derniers temps, de nouveaux gisements très-importants de ce métal.

Chili. — Les minerais d'argent du Chili sont représentés par de volumineux blocs, où abondent les différents minéraux: l'argent natif, l'argent chloruré, l'argent sulfuré et l'argent rouge. Les mines appartiennent au département de Copiapo; elles sont ouvertes sur des filons qui, pour la plupart, traversent des couches argileuses et calcaires, de l'époque jurassique.

Les échantillons envoyés à l'Exposition proviennent principalement des mines de Charnacillo, de Tres Puntas et de Buena Esperanza (1). La découverte des premières, qui ne date que de 1831, a pris un développement très-considérable; aucune mine du globe n'a peut-être produit autant d'argent chloruré, ou plutôt chlorobromuré. Les minerais principaux qu'elle fournit aujourd'hui sont, outre l'argent chlorobromuré qui continue encore, l'argent natif, l'argent rouge et l'argent sulfuré, rarement de la polybasite, de la galène, et plus rarement encore de la pyrite, de la blende et du cuivre sulfuré. Toutefois, un petit nombre des 85 mines en exploitation donnent des bénéfices. Quant aux mines de Tres Puntas, elles sont encore plus récentes que celles de Charnacillo; elles ne datent que d'une vingtaine d'années. Elles n'ont donné de minerai chloruré qu'aux affleurements des filons; mais, en revanche, elles ont produit des quantités énormes d'argent rouge massif, tant antimonial qu'arsénical, et mélangé d'argent sulfuré, de polybasite, d'arséniure cobaltifère, et surtout d'argent natif. Un échantillon d'argent rouge cristallisé pré-

(1) C'est un devoir de remercier ici M. Apollinaro Sotto, propriétaire de ces dernières, de la générosité avec laquelle il a bien voulu offrir ses riches échantillons au Muséum et à l'École Impériale des Mines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sente cette espèce, en cristaux de dimensions et d'une netteté extraordinaires.

Pendant ces cinq dernières années, les mines du Chili ont donné moyennement, par an, 33,080 kilogrammes d'argent métallique. Cependant, ce chiffre ne donne pas la production totale du pays. Il faut y ajouter : d'abord l'argent contenu dans les mattes et minerais de cuivre argentifères, qui ont été exportés en Angleterre et en Allemagne; puis l'argent exporté à l'état de minerai brut, dont la valeur s'est élevée, en 1865, à 3,133,000 francs; enfin l'argent monnayé à Santiago : ce dernier avait, en 1866, une valeur de 4,867,000 francs.

L'absence complète de l'or dans les filons du Chili est un fait remarquable, qui contraste avec ce que l'on observe dans les grands districts argentifères des États-Unis.

République Argentine. — Les minerais d'argent de la République Argentine sont aussi représentées par plusieurs collections, provenant des provinces de Cordova, San Juan et Buenos Ayres. L'une est due à M. le docteur Martin de Moussy, qui, après un long séjour dans ces contrées, a publié un ouvrage plein de faits utiles pour les faire connaître. Comme au Pérou, certaines mines sont exploitées à une altitude qui dépasse 4,000 mètres.

Bolivie et Pérou. — Il est à regretter que la Bolivie et le Pérou, également si riches en métaux précieux, ne soient pas représentés à l'Exposition.

Les célèbres mines de Cerro de Pasco paraissent produire en ce moment de l'argent pour une valeur d'environ 10 millions de francs par an.

Amérique centrale. — Les échantillons de minerais d'or et d'argent provenant des districts de Ségovia et du Chontalès, dans le Nicaragua, ainsi que ceux du San Salvador, sont exposés, avec l'indication de la teneur de chacun d'eux en or et en argent. Les minerais d'or du Chontalès ont particulièrement attiré l'attention dans ces derniers temps; ils sont exploités, en partie, par des compagnies anglaises.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mexique. — Les produits des mines du Mexique figurent dans une exposition spéciale au Ministère de l'instruction publique, où l'on voit une collection de nombreux échantillons, provenant des principaux centres d'exploitation; ces échantillons ont été rapportés par M. Guillemin.

Le district de Zacatecas continue à se montrer d'une richesse tout à fait supérieure. Après avoir produit, comme on le sait, de 1548 à 1832, c'est-à-dire en 284 ans, 3,280 millions de francs, elles ont donné, de 1832 à 1866, c'est-à-dire en 35 ans, 700 millions de francs. Les douze mines exploitées aux environs de la ville produisent actuellement, par an, de l'argent pour une valeur de 27 millions.

États-Unis. — L'un des faits les plus importants que présente, dans ces dernières années, l'extraction des matières minérales est l'abondance avec laquelle on découvre l'argent, dans la région occidentale des États-Unis. A mesure que ces nouveaux États sont explorés, les découvertes de filons argentifères se multiplient.

On sait comment une compagnie de mineurs, après avoir traversé la Sierra Nevada, rencontra en 1859, à l'est de cette chaîne de montagnes, le filon de quartz désigné aujourd'hui sous le nom de filon de Comstock, situé dans l'État de Nevada, non loin des confins de la Californie et dans le district de Washoe (1). Depuis lors, c'est-à-dire en neuf années, ce filon qui, par sa puissance, rappelle ceux de la Veta Madre et de la Veta Grande, à Guanaxuato et à Zacatecas, au Mexique, a attiré de nombreux mineurs; ceux-ci, aujourd'hui au nombre de 5,000, ont fondé, dans le voisinage, les villes de Virginia City et de Gold Hill.

Les principaux minerais du filon consistent en sulfure d'argent, soit simple, soit combiné à d'autres sulfures : argent sulfuré et stéphanite, ou argent sulfuré fragile; en outre, et seule-

(1) M. le baron Richthofen a récemment donné des observations intéressantes sur ce filon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment en petite quantité, argent rouge, polybasite et argent chloruré, ordinairement parsemés d'argent natif très-divisé et accompagnés de galène très-argentifère. De l'or y est disséminé en quantité notable, et sa proportion, relativement à l'argent, diminue rapidement dans la profondeur. Tandis que les crêtes quartzeuses fournissaient en or jusqu'à 4,000 et 5,000 francs par tonne de minerai, les filons ne donnaient plus, à 125 mètres de profondeur, que des minerais sulfurés contenant en or 1.5 à 2.5 pour 100, au plus, du poids de l'argent. Les autres compagnons de ces riches minerais sont la pyrite de fer, la pyrite de cuivre et la blende. Le quartz forme à peu près la gangue unique; il est mélangé de carbonate de chaux, en très-petite quantité.

L'épaisseur du filon varie de 6 mètres à 60 mètres, et elle est, en moyenne, de 10 à 20 mètres. Sa longueur est reconnue avec certitude sur environ 6,300 mètres, et dépasse probablement 8,000 mètres.

A raison de l'importance exceptionnelle de cette exploitation et de la rapidité avec laquelle elle s'est produite, il n'est pas sans intérêt de connaître les extractions annuelles qui nous ont été données comme il suit :

1859	250,000	francs.
1860	500,000	—
1861	11,375,000	—
1862	32,500,000	—
1863	62,500,000	—
1864	82,500,000	—
1865	84,000,000	—
1866	82,500,000	—
Total	356,125,000	francs.

De telles valeurs sont extraites d'une étendue de terrain qui n'a guère que 600 mètres de largeur sur 6,000 de longueur. Ce filon est peut-être le plus productif de tous ceux qui ont été exploités, dans ces dernières années, à la surface du globe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des compagnies, au nombre de 35, sont établies sur ce filon; chacune possède, sur la longueur du filon, un nombre déterminé de pieds, depuis 10 jusqu'à 1,400, et a droit d'extraire tout le minerai contenu entre ses parois, jusqu'aux plus grandes profondeurs accessibles.

Malgré leur énorme rendement, ces mines ne donnent actuellement, en moyenne, qu'un bénéfice assez faible. Car les frais d'exploitation et d'épuisement des eaux, à une profondeur qui atteint maintenant de 160 à 200 mètres, et qui, sur quelques points, est de 230 mètres, sont devenus très-considérables. En y comprenant le prix du transport aux usines et le traitement du minerai, la dépense totale approche de 80 millions de francs par an; ainsi, 30 machines à vapeur sont constamment en activité, nuit et jour, et chaque corde de bois employée pour les chauffer ne coûte pas moins de 87 francs. Aussi, à côté d'un petit nombre d'exploitations qui payent des dividendes notables, la plupart sont en perte, et les dépenses iront d'ailleurs en croissant avec la profondeur.

Un procédé qui mérite toute l'attention a été proposé afin de remédier à cet état fâcheux des exploitations. Les diverses mines ouvertes sur le filon de Comstok sont situées à environ 600 mètres au-dessus d'une vallée voisine; de telle sorte qu'en perçant une galerie d'écoulement de moins de 7,000 mètres de longueur, on irait recouper les filons à une profondeur de 600 mètres au-dessous de leurs affleurements, et l'épuisement des eaux, aussi bien que l'exploitation, se trouveraient singulièrement facilités. Ces mines seraient ainsi placées dans de tout autres conditions économiques, pour environ un siècle.

On sait, en effet, les services que de grandes galeries d'écoulement analogues ont rendu dans différentes mines métalliques, au Hartz, à Freyberg en Saxe, à Schemnitz en Autriche, et en Angleterre, aux *United Mines*, près de Redruth.

Le percement de la galerie principale projetée à Comstok, par M. Sutro, a été estimé à 10 millions et pourrait durer quatre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à cinq ans. Comme un tel travail ne peut être évidemment exécuté aux frais des exploitants, il serait accompli par une compagnie spéciale, qui se rembourserait en prélevant un droit fixe par tonne de minerai extrait; on a proposé le chiffre de 10 francs. En outre, la Compagnie aurait la propriété des filons qu'elle pourrait découvrir dans le percement. Enfin, l'eau qui sortirait de la galerie serait vendue, et serait employée pour l'irrigation ou comme force motrice. Il est aussi à remarquer que, dans les parties déjà explorées du filon, il y a une grande quantité de minerai d'une teneur trop faible pour pouvoir, dans l'état actuel des choses, payer son extraction. On a admis qu'il n'y a pas moins de 4 millions de tonnes de minerai ainsi abandonné, avec une valeur de 50 à 150 francs par tonne, de telle sorte que la Compagnie évalue au moins à 40 millions de francs le revenu que ce minerai lui procurerait. Par suite de ces facilités d'exploitation, on admet aussi que le produit annuel pourrait être triplé. Ainsi, la galerie d'écoulement créerait, sous différentes formes, plus de richesses encore qu'il n'en est sorti du filon de Comstock. Le projet vient d'être représenté sur deux sections à grande échelle, à $\frac{1}{4.800}$, où sont également indiquées toutes les exploitations, de manière à donner une idée de cette grande entreprise.

En 1865, les compagnies qui exploitent le minerai avaient déjà percé des galeries, dont la longueur totale s'élève à plus de 44 kilomètres, et des puits dont les profondeurs additionnées formaient un total de plus de 9 kilomètres. Elles employaient 44 machines d'extraction et d'épuisement, d'un pouvoir de plus de 1,500 chevaux; elles occupaient 76 moulins pour le broyage de leurs minerais, et 1,800 tonnes de roches étaient traitées chaque jour.

Dans la partie orientale du même État de Nevada, il existe d'autres exploitations d'argent. Un certain nombre d'entre elles forment le groupe connu sous le nom de Reese River, et sont situées près de la ville d'Austin, qui a été fondée aussi par les mineurs. Ce groupe de filons argentifères s'étend sur une lon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gueur de plus de 120 kilomètres de l'est à l'ouest, et de 32 kilomètres du nord au sud. La première découverte de l'argent, dans cette région, ne date que de 1862.

Les principaux filons de ce district sont représentés par des échantillons volumineux, exposés par M. E. Bucl, qui montrent le filon sur toute son épaisseur. Ils se composent d'une gangue de quartz, dans laquelle sont disséminés, les minerais d'argent, principalement le cuivre gris argentifère et l'argent rouge, accompagnés quelquefois de carbonate de manganèse, avec de la galène, de la blende et de la pyrite. Leur aspect comme leur composition rappellent tout à fait certains filons du Mexique. Vers l'affleurement de ces mêmes filons, au-dessus du niveau auquel les eaux commencent à stationner, le minerai change de nature et se mélange d'argent chloruré et de cuivre carbonaté bleu et vert.

L'épaisseur des filons est d'environ 80 centimètres à 1 mètre; ils rendent, dit-on, 1,500 francs par tonne, et certaines parties donnent le double et au delà. D'après l'analyse que M. Rivot a récemment faite, au laboratoire d'essai de l'École des Mines, les divers filons exposés tiennent 4 à 11 pour 100 d'argent, et seulement des quantités très-faibles d'or. Il ne faut pas moins qu'une telle richesse pour que, en l'absence de toute machine d'extraction et d'épuisement, et avec des salaires qui sont encore de 25 francs par jour, il y ait bénéfice à exploiter. L'exécution du chemin de fer du Pacifique, qui traversera cette région dans deux ans, changera un état de choses aussi défavorable.

Des roches éruptives, consistant en diorites et porphyres, sont sorties, en beaucoup de localités, dans l'État de Nevada et ont frayé le chemin aux émanations métallifères, de même qu'au Mexique et en Hongrie; ainsi le mont Davidson, dans les flancs duquel se trouve le riche filon de Comstock, est formé de syénite. Les éruptions de ces roches ont été suivies de celles de trachytes. Enfin de nombreuses sources thermales sont comme la continuation actuelle des émanations, auxquelles les filons doivent leur origine.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au nord de Nevada, dans l'État de Idaho, on a découvert tout récemment des filons d'argent dont la richesse est attestée par des blocs de plusieurs décimètres d'épaisseur qui en proviennent, et dans lesquels l'argent rouge et l'argent sulfuré se montrent avec une abondance tout à fait extraordinaire. M. W.-D. Walbridge, avec l'énergie et la persévérance si fréquentes aux États-Unis, est allé les chercher au milieu de tribus encore sauvages. Ce filon, dit « Poor Man's lode », situé dans une contrée dépourvue de toute voie de communication, aurait déjà fourni, entre deux puits espacés seulement de 40 mètres, une valeur de plus de 5 millions de francs. En 90 jours, du 23 juillet au 23 octobre 1866, on aurait extrait 150 tonnes de minerai, d'une valeur de 3 millions de francs, soit 20,000 francs par tonne. Le filon, d'une largeur de 15 centimètres à 2 mètres, a été suivi sur une longueur considérable (1).

Des filons d'argent ont été reconnus aussi dans les États d'Utah, d'Arizona et de Montana.

D'autres filons d'argent, réputés riches, ont été récemment signalés dans la partie des Montagnes-Rocheuses qui appartiennent à l'État de Colorado. Comme dans l'Etat de Nevada, ils sont accompagnés de sources salines, chaudes et sulfureuses.

A la suite des chiffres qui viennent d'être fournis sur la richesse des filons des États-Unis de l'ouest, il est bon d'ajouter que cette richesse doit être en moyenne de 400 à 450 francs par tonne, pour qu'il y ait bénéfice, qu'il s'agisse de filons d'argent ou de filons d'or. La richesse moyenne des filons exploités au Mexique serait plus élevée ; elle atteindrait 500 à 550 francs par tonne.

Grande étendue de la zone argentifère de l'Amérique septentrionale. — D'après les découvertes récentes faites en minerais

(1) On exécute actuellement trois galeries, qui permettront de donner un écoulement aux eaux, en même temps que d'extraire le minerai plus économiquement ; car tout doit encore se faire à bras d'hommes et sans le secours des machines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'argent dans la région occidentale des États-Unis, on reconnaît avec étonnement sur quelle vaste étendue se retrouvent, avec des circonstances identiques ou analogues, les filons argentifères.

Au Mexique, des filons argentifères sillonnent une zone à peu près continue, du sud-est au nord-ouest, s'étendant sur une longueur de plus de 2,000 kilomètres, du 16e au 30e degré de longitude. Dans cette région, on connaît au moins 4,000 à 5,000 filons, à une altitude de 1,800 à 3,000 mètres. Les principales mines qui y ont été ouvertes appartiennent aux districts de Guanaxuato et Zacatecas. On sait maintenant que cette zone se poursuit, vers le nord, depuis les provinces de Sonora et de Chihuahua, appartenant au Mexique, jusque dans les États de Arizona, Nevada, Utah, Colorado, Idaho et Montana, et sans doute au delà encore, dans les régions plus septentrionales.

D'un autre côté, au sud du Mexique se trouvent d'autres régions, telles que celles du Honduras et du San Salvador, dans lesquelles les filons quartzeux et argentifères, sans se montrer aussi riches que ceux dont il vient d'être question, sont extrêmement nombreux et se trouvent dans les mêmes conditions géologiques. L'Amérique du Sud présente elle-même une bande argentifère, qui se prolonge à travers le Chili, la République Argentine, la Bolivie et le Pérou, et qu'on pourrait rattacher à la zone précédente.

Le sol de l'Europe si morcelé ne peut montrer des groupes géologiques aussi vastes que le continent américain, qui est constitué sur des dimensions incomparablement plus grandes. On se rappelle que la région méridionale de l'Asie nous a donné plus haut un exemple du même genre, à propos des minerais d'étain.

Dans toute cette étendue qui, considérée seulement dans l'Amérique du Nord, ne comprend pas moins de 34 degrés de longitude, les groupes de filons ne se montrent que par places assez distantes; mais ils ne doivent pas moins être considérés comme constituant un système, c'est-à-dire un ensemble pré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sentant certains caractères d'unité, quant à son origine et à son mode de formation. C'est un des exemples remarquables faisant ressortir la grandeur de certains phénomènes géologiques, qui ne paraissent petits et isolés que parce qu'on ne les rattache pas entre eux.

D'un autre côté, la découverte de filons aussi exceptionnellement riches dans des régions encore à peine explorées, paraît avoir une signification importante, au point de vue de l'industrie minérale proprement dite comme à celui de l'économie sociale. D'après les faits connus sur la multiplicité des filons dans un même groupe, il paraît impossible que l'on ne découvre pas bientôt d'autres filons argentifères, importants par leur puissance et leur richesse. Lors même que tous ces filons présenteraient le caractère général de s'appauvrir dans la profondeur, il est plus que probable que lorsque cette région étendue aura été explorée, puis dotée de voies de communication, elle deviendra rapidement, grâce à l'énergique activité des habitants des États-Unis, un centre considérable de production pour l'argent.

C'est ainsi que ce vaste territoire des États-Unis, déjà si richement partagé en houille et en anthracite dans sa région orientale, aura présenté en moins de vingt ans, dans son industrie minérale, plusieurs phases nouvelles et inattendues : l'exploitation de l'or en Californie ; l'extraction des pétroles avec une abondance inconnue jusqu'alors ; puis la mise en valeur des filons d'argent des États occidentaux. Ce n'est sans doute pas le dernier terme de cette série d'étapes.

Sans examiner quelles seront, au point de vue économique, les conséquences de cette grande production en or et en argent, il convenait de constater les faits les plus récents et les résultats qu'ils paraissent annoncer. La quantité de métal que fourniront ces régions si bien dotées aura probablement pour effet de modifier très-notablement le rapport qui existe actuellement entre la valeur de l'argent et celle de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'or, dont la production n'a pas le même caractère de permanence.

§ 9. — Minerais d'or.

Le fait le plus remarquable que présente l'industrie minérale depuis le commencement de ce siècle, à part l'accroissement considérable qui est survenu dans l'extraction de la houille, c'est le grand développement de l'exploitation des métaux précieux dans quelques régions jusqu'alors improductives. Ainsi, l'or est découvert dans les sables, sur le versant oriental de l'Oural (1814), plus tard en Californie (1848), et enfin en Australie (1851).

Europe. — L'Europe, qui a fourni, dans l'antiquité et au moyen âge, des exploitations d'or sur de nombreux points, particulièrement dans le lit de ses rivières, continue à en produire dans quelques régions, mais seulement en quantités comparativement faibles.

Les principales exploitations, situées en Transylvanie et en Hongrie, ont produit, en 1865, 1,924 kilogrammes d'or.

L'Italie en fournit une certaine quantité, qui appartient à deux gisements bien distincts, tous deux représentés à l'Exposition : l'un provient des filons de pyrite aurifère du versant méridional des Alpes, du Monte Rosa (Macugnaga) ; l'autre, des quartz aurifères des Apennins de la Ligurie. Les uns et les autres sont traités par l'amalgamation. Neuf mines sont exploitées et produisent environ pour 500,000 francs d'or. Quant au lavage de sables que l'on fait dans quelques rivières, l'Orco, le Tessin, le Pô, le Serio, etc., ils ne donnent que des produits insignifiants.

En Angleterre, on a repris, il y a quelques années, l'exploitation de l'or en roche dans le nord du pays de Galles, dans le Merionetshire. Ces filons, qui ont été travaillés par les Romains, renferment ce métal disséminé au milieu du quartz. En 1866,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

on a extrait 2,927 tonnes de minerai, qui ont rendu 23 kilogrammes d'or.

Ce n'est pas l'Europe, fouillée depuis longtemps dans toutes ses parties, qui a fourni récemment des découvertes considérables en or, mais des contrées encore vierges ou très-incomplétement explorées.

Empire russe. — L'exploitation de l'or dans l'Empire russe, représentée par des échantillons de minerais bruts et lavés et par des tableaux montrant les méthodes de lavage, n'a pas subi des changements considérables.

Dans ce vaste pays, l'or continue à être exploité par lavage, en beaucoup de points que l'on peut grouper dans trois régions principales : le revers oriental de la chaîne de l'Oural (gouvernements de Perm et d'Orenbourg), le système Sayano-Altaïque (gouvernements de Tomsk et de Jénisseisk), et le système du Jablonnoï-Khrébet (Trans-Baïcalie). Le lavage s'y fait avec beaucoup de soin et d'habileté ; une vue des ateliers de la mine d'or dite Jagodin, appartenant à MM. Astacheff, où l'on exploite les alluvions jusqu'à une profondeur de 25 mètres, donne une idée de tous les détails des procédés. Depuis 1860, on a introduit l'usage de la machine Kamarnizki, qui est mue par la vapeur. La production de l'or, après s'être accrue rapidement, de 1830 jusqu'à 1847 et 1848, années qui correspondent au maximum, est restée à peu près stationnaire depuis 1850. Elle a été, en 1863, de 23,920 kilogrammes, et, d'après les prix établis par la couronne qui achète tout le produit des lavages, elle représente une valeur de 77,228,000 francs.

Il n'est pas sans intérêt d'ajouter que les 432 millions de kilogrammes, traités en 1863 dans les lavages de Miask, ont produit 720 kilogrammes d'or, en même temps que 56 kilogrammes d'argent ; c'est donc pour les sables aurifères de cette région une richesse moyenne de seize millionièmes.

Californie.—L'extraction de l'or, en Californie, a notablement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

baissé dans ces dernières années ; cette diminution s'est produite malgré la puissance, inouïe jusqu'alors, qui a été développée tant pour désagréger que pour laver les sables et les graviers aurifères.

C'est de 1850 à 1856 que le lavage de l'or dans les rivières a occupé une place très-importante ; après des opérations destinées à détourner certaines rivières, et qui furent suivies de pertes considérables, on abandonna généralement ce genre de travail aux Chinois, qui savent se contenter d'un modique salaire. C'est aussi vers la même époque que l'on a attaqué les puissantes alluvions aurifères, dont l'épaisseur atteint 80 mètres. Leur teneur moyenne en or a été évaluée à 1 kilogramme de métal sur 4 millions de kilogrammes de gravier.

L'extraction de l'or des filons va en augmentant, malgré l'incertitude que présente cette exploitation ; car, quoique un même filon de quartz s'étende souvent sur plusieurs kilomètres, il est rarement profitable sur plus de 300 mètres de longueur. Le grand filon de quartz de Mariposa lui-même, que l'on suppose long de plus de 50 kilomètres, et que l'on peut appeler le *filon mère* de Californie, présentait quelques places très-riches, mais sur une faible longueur, et bientôt la masse redevenait à peu près ou complétement stérile. Cependant, l'accroissement de l'exploitation des filons ne saurait compenser le décroissement qu'ont subi les lavages. Le maximum de production de Californie en or correspond à l'année 1863.

Sur le bruit qui courut, en 1858, qu'on venait de découvrir de riches lavages d'or à la rivière Fraser, dans la Colombie anglaise, 18,000 hommes, c'est-à-dire un sixième des hommes valides de la Californie, abandonnèrent ce pays pour se transporter sur les points où ils avaient l'espoir, bientôt déçu, de faire des bénéfices plus considérables. Une autre cause détourna les mineurs du travail de l'or : c'est la découverte qui se fit à cette époque de riches filons d'argent à l'est de la Sierra Nevada, et notamment du filon de Comstock.

Au 1er octobre 1866, soixante-dix-neuf Compagnies exploi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

taient en Californie, l'or en roche, dans les districts de Grass Valley et de Nevada ; elles occupaient 1,830 ouvriers, 91 machines, 426 bocards, et extrayaient 85,620 tonnes de minerai. Le district de Grass Valley, d'un diamètre moyen de 7 kilomètres seulement, produisait 17,500,000 francs ; c'est probablement le district du globe le plus productif en or provenant de l'extraction des filons. En évaluant le nombre des ouvriers à 2,000, cela donne, pour la production annuelle, 8,750 francs par personne et un rendement moyen de 150 à 165 francs par tonne, ce qui doit faire supposer qu'une partie s'extrait avec perte. Les filons ne sont pas épais ; aucun n'excède $2^{m}30$ en largeur et beaucoup ont moins de $0^{m}30$. Comme ils contiennent d'ailleurs beaucoup de pyrite, les frais d'extraction et de réduction s'élèvent à environ 75 francs par tonne. Les travaux sont descendus à la profondeur de 130 mètres ; mais la plupart des minerais ont été obtenus à moins de 65 mètres de la surface.

Il a été reconnu que les schistes que traversent certains quartz aurifères de Californie renferment des bélemnites, et doivent être attribués à l'époque jurassique : l'arrivée de l'or est donc postérieure à cette époque, et par conséquent assez récente.

Colorado. — Les filons aurifères du Colorado sont représentés par une collection très-complète de minerais dans lesquels domine la pyrite de fer, et où se trouvent en proportion incomparablement moindre d'autres sulfures renfermant du cuivre, de l'argent, du plomb, de l'antimoine et de l'arsenic. Ces minerais proviennent de très-nombreux filons, dont la disposition est représentée sur des cartes spéciales. Ils sont situés dans les Montagnes-Rocheuses, qui, à cette latitude, atteignent des hauteurs de 4,700 à 5,000 mètres. La ville de Denver, actuellement d'une population de 7,000 âmes, est établie à proximité de ces filons.

Les minerais du Colorado, dans lesquels l'or est engagé en parties invisibles, au milieu de sulfures, opposent à l'extraction

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du métal une difficulté toute particulière, que plusieurs ingénieux procédés n'ont pas encore pu parvenir à surmonter. Dans plusieurs d'entre eux, la vapeur d'eau surchauffée est employée comme désulfurant sur le minerai préalablement réduit en poussière, de telle sorte que le résidu puisse être traité efficacement par l'amalgamation.

La découverte de l'or, que les émigrants firent en 1858 dans une rivière, près de la ville actuelle de Denver, signala d'abord le Colorado à l'attention publique comme pays de mines. A cette époque, toute la contrée était encore sauvage et inexplorée. Pendant les années 1861 et 1862, il y eut un continuel courant d'émigrations vers le Colorado ; mais ce mouvement se ralentit pendant les trois années suivantes pour différentes causes, et entre autres à raison de la difficulté d'effectuer, à travers une plaine aride ce long trajet de plus de 1,000 kilomètres, des derniers établissements de l'Est jusqu'aux montagnes du Colorado. Les hostilités des Indiens furent un autre obstacle (1).

Alleghanis.—Une troisième région des États-Unis présente l'or en quantité exploitable : c'est le versant oriental de la chaîne des Alleghanis, depuis l'Alabama, sur toute la longueur des États-Unis. Des filons aurifères sont connus, en grand nombre, dans les schistes talqueux et chloritiques de la région méridionale de cette chaîne. Ils consistent principalement en quartz, dans lequel l'or se trouve disséminé, en parties indiscernables, avec la pyrite, son compagnon ordinaire, et quelquefois de la galène et de la blende ; mais c'est seulement dans les alluvions que l'or est exploité. D'après une exploration récente de M. le Dr Charles-T. Jackson, il en existe aussi des gisements étendus dans l'État de Vermont.

(1) On compte actuellement, dans les trois principaux cantons miniers du Colorado, 91 bocards faisant mouvoir 1,700 pilons, variant, comme poids, de 125 à 450 kilogrammes. Il y a, en outre, 41 usines d'autre nature, dont plusieurs fonderies; un certain nombre d'entre elles sont inactives.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis 1848, époque de la découverte de l'or en Californie, les alluvions aurifères de la Virginie, des deux Carolines et de la Géorgie, ont perdu de leur importance.

Nouvelle-Écosse.— A cette bande aurifère, qui s'étend dans la région orientale de l'Amérique du Nord, se rattachent naturellement les exploitations récemment entreprises dans la Nouvelle-Écosse. Ces gîtes sont représentés par des échantillons, sur lesquels on constate l'identité d'aspect qu'offrent les quartz aurifères, parsemés de mispickel, de cette région de l'Amérique avec ceux de beaucoup d'autres contrées, particulièrement de l'Australie. En outre, des échantillons d'un conglomérat quartzeux, qui repose sur le terrain silurien, en stratification discordante, et qui appartient au terrain carbonifère, montrent des paillettes d'or, dispersées au milieu des cailloux. Il a été formé pendant la période carbonifère inférieure, par la destruction des roches siluriennes et de leur quartz aurifère. Au conglomérat, dont l'épaisseur est d'environ 10 mètres, est associée une argilolithe également aurifère.

Deux régions renferment de l'or : l'une, constituée par le terrain silurien inférieur, s'étend sur toute la longueur de la côte de l'Atlantique, avec une largeur qui atteint 80 kilomètres ; dans l'autre, les filons quartzeux traversent le terrain silurien supérieur et le terrain dévonien, et même les roches éruptives, qui y sont développées ; c'est, par exemple, dans ce dernier gisement qu'on a rencontré le métal au cap d'Or. L'étendue de ces deux districts comprend 16,000 kilomètres carrés, c'est-à-dire plus de la moitié de la surface de la Nouvelle-Écosse. Le terrain silurien inférieur, dans lequel sont des intercalations de granite, se compose, en grande partie, de couches de quartzites, que coupent les filons de quartz aurifère. Sur une distance de 50 mètres seulement, on n'a pas observé moins de 30 de ces filons de quartz, d'une épaisseur de 0^m03 à 0^m40, et en moyenne de 0^m16 ; ailleurs, on connaît des filons de quartz de 2, 3 et jusqu'à 10 mètres d'épaisseur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Beaucoup des filons de quartz aurifère exploités ont la même direction et la même inclinaison que la roche qui les renferme, et ils prennent l'aspect de couches.

C'est seulement en 1860 que l'exploitation de l'or a pris naissance dans la Nouvelle-Écosse. Depuis 1862, l'extraction s'est accrue de 203 à 728 kilogrammes, et la production totale, représentée par une pyramide, qui est comme une miniature de celle d'Australie, a été, de janvier 1862 à septembre 1866, de 2,634 kilogrammes, d'une valeur de 8,161,000 francs. Cet or provient, presque en totalité, de filons. On estime que le rendement de ces quartz aurifères, par tonne, est de 3 kilogrammes 248 (1).

Canada.—L'or se rencontre également dans le Bas-Canada, non-seulement dans des filons quartzeux, mais aussi dans des alluvions aurifères, qui s'étendent sur les couches siluriennes inférieures. Dans la vallée de la Chaudière, qui est la principale région, elles couvrent 25,600 kilomètres carrés. Elles ont été l'objet d'études récentes, mais ne donnent pas lieu encore à une exploitation notable.

Victoria. — On sait que l'or de la province de Victoria, en Australie, dont la découverte remonte à l'année 1851 seulement, s'y trouve, avec une grande abondance, et dans deux gisements bien distincts : 1° dans de nombreux filons quartzeux, sillonnant le pays et traversant les roches stratifiées anciennes, principalement de l'époque silurienne, qui constituent une partie de la contrée, ainsi que les massifs de granite qui y sont intercalés; 2° dans des terrains déposés par les eaux et formés aux dépens des roches plus anciennes qui les supportent. Ces derniers matériaux aurifères ne consistent pas seulement en alluvions proprement dites, modernes et anciennes, mais

(1) En 1866, la Nouvelle-Écosse aurait produit, par mineur, 3,746 francs, tandis qu'à Victoria, en Australie, cette même production n'aurait été que de 2,028 francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aussi en dépôts stratifiés et en couches appartenant aux terrains tertiaires et rapportées aux étages pliocène et miocène. On n'a pas encore trouvé de fossiles marins dans ces terrains tertiaires, mais seulement des débris de végétaux, arbres et feuilles, et même du lignite, quelquefois aussi des ossements fossiles, appartenant à des marsupiaux.

C'est dans ce gisement remanié que l'or a été surtout exploité, pendant les premières années qui ont suivi la découverte. Les laveurs, après avoir traité d'abord les parties voisines de la surface, ont pénétré dans toute l'épaisseur des terrains tertiaires superposés aux couches anciennes, et jusqu'à celles-ci, qui consistent souvent en phyllades. Aujourd'hui on exploite au moyen de puits, qui ont 90, 120 et 150 mètres de profondeur. L'épaisseur des couches tertiaires varie, non-seulement d'après le relief du sol, mais aussi d'après les inégalités des roches anciennes, sur lesquelles se sont déposées ces couches. A Ballaarat, par exemple, certains de ces puits, avant d'arriver aux matériaux aurifères, doivent traverser des nappes de basalte, épaisses de 30 mètres et au-delà, qui se sont épanchées à la surface des terrains tertiaires. Les matériaux à laver ont une épaisseur qui varie de 0^m 30 à 3^m 60. Ils consistent principalement en gravier, en sable quartzeux et en argile, dans lesquels l'or se présente en petits grains ou en paillettes et, accidentellement, en pépites fortement arrondies par les eaux. Ces débris quartzeux sont souvent cimentés de manière à constituer des grés et des conglomérats solides, dans la pâte desquels se distinguent des paillettes d'or. Le poids de certaines pépites s'est élevé à 28, à 56 et jusqu'à 84 kilogrammes. Cette dernière surpasse donc les plus fortes que l'on avait signalées auparavant, celle de 36 kilogrammes, trouvée dans l'Oural, et celle de la Californie pesant 42 kilogrammes.

Les filons de quartz aurifère abondent dans toutes les parties de la province où paraissent les roches schisteuses ; ils les coupent, ainsi que toutes les roches inférieures au terrain ter-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tiaire. Plus de 2,000 de ces filons sont aujourd'hui connus ; leur épaisseur varie depuis 1 ou 2 mètres jusqu'à 15 mètres. L'or est associé, dans sa gangue quartzeuse, avec du mispickel et de la galène, dans des conditions que montre une collection d'échantillons. On a cherché à expliquer la difficulté avec laquelle on extrait l'or de certains minerais, en supposant que ce métal, au lieu d'être libre, serait engagé dans une combinaison, encore indéterminée, où il entrerait du soufre et de l'arsenic. Parmi les compagnons de l'or à Victoria on a signalé la présence du zinc natif, fait qui serait à rapprocher de la présence de l'étain natif, qui a été rencontré dans les sables aurifères d'autres régions du globe, et notamment à la Guyane.

Les travaux de mines établis sur les filons aurifères s'étendent, pour beaucoup, au delà de 130 mètres et, pour quelques-uns, jusqu'à environ 200 mètres, sans qu'on aperçoive une diminution dans leur richesse en or. 17,730 mineurs et 522 machines à vapeur, d'une puissance totale de 9,079 chevaux, aidés de 62 machines mues par l'eau, servent à broyer le quartz, à l'extraire et à épuiser les eaux. Au lieu de petites machines, mises en mouvement par des moteurs de 10 à 15 chevaux, on a des batteries de bocards, comme il n'en existe sans doute pas dans les autres contrées aurifères du globe (1).

La province de Victoria a produit, en 1865, 43,226 kilogrammes d'or, d'une valeur de 154 millions de francs. Outre les 17,730 mineurs employés aux exploitations d'or dans la roche, on comptait, en 1866, 65,484 ouvriers occupés aux lavages, ce qui fait un total de 83,214 personnes, presque tous hommes. Ce chiffre est très-remarquable, surtout si on le compare à celui de la population de la colonie, qui est de 626,000. L'un des traits frappants des ateliers de lavage est le

(1) Dans certaines mines, on compte, par tonne de quartz, un prix de revient de 14 fr. 10, y compris l'achat et la dépréciation des machines, le transport à la mine et au bocard; le prix d'abatage dans les galeries varie de 4 fr. 40 à 9 fr. 90 par tonne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grand nombre de Chinois qui y travaillent ; on en compte en effet 20,933. La production de 1866 est inférieure à celle de plusieurs des années précédentes et le maximum de production a eu lieu en 1856. Le produit moyen annuel en or, par mineur, est évalué à 1,850 francs ; il s'était élevé à une valeur double et même triple dans l'origine, en 1862, et quelques années après.

La quantité recueillie, depuis la découverte des mines jusqu'à la fin de 1865, a été de 1,034,346 kilogrammes, d'une valeur de 3,651,436,600 francs. Cette quantité, si importante pour l'économie des transactions, ne représente qu'un volume de 66 mètres cubes. Le sol de la province de Victoria a déjà été fouillé, pour or, sur une étendue de 1,850 kilomètres ou un cinquantième de la superficie totale ; en ce moment les exploitations occupent 530 kilomètres carrés.

Depuis 1860, des sommes considérables ont été votées par le parlement de Melbourne pour la construction de réservoirs d'eau ; ceux-ci ont permis à un grand nombre de personnes, qui n'ont d'autre moyen de vivre que les mines, de poursuivre leurs travaux, sans interruption, pendant les sécheresses. Aujourd'hui, il est encore question d'augmenter ces réservoirs ; on en projette 21, qui coûteraient ensemble plus de 25 millions de francs, et qui serviraient non-seulement à l'exploitation des mines, mais aussi à l'irrigation et aux besoins domestiques.

Nouvelle-Galles du Sud. — Quoique beaucoup moins productive en or que la province de Victoria, la Nouvelle-Galles du Sud expose une série bien plus considérable de terres et sables aurifères et du produit de leur lavage. Dans la Nouvelle-Galles du Sud, on retrouve, comme en Australie, de nombreux filons de quartz aurifère, encaissés, soit dans le terrain schisteux, soit dans le granite. C'est surtout par lavage qu'on y extrait l'or. Les alluvions aurifères de la Nouvelle-Galles du Sud sont parfaitement représentées, sur toute leur épaisseur et dans les principales localités où on les traite, par une série

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de trente-deux coupes, qui montrent de quelle manière varie la composition de ces alluvions aux divers niveaux.

Depuis 1851, époque à laquelle l'or a commencé à être exploité dans cette province, jusqu'à la fin de 1865, c'est-à-dire pendant 15 ans, la production de l'or de la Nouvelle-Galles du Sud a été de 19,315 kilogrammes, ayant une valeur de 66,191,700 francs.

En résumé, les colonies australiennes de l'Angleterre, Victoria et la Nouvelle-Galles du Sud, auxquelles il faut ajouter la Nouvelle-Zélande, ont versé dans la circulation, depuis 1851, de l'or pour une valeur de 4,475 millions de francs.

Il existe encore d'autres contrées où l'industrie de l'or s'est développée récemment et qui sont représentées à l'Exposition. Il convient de les mentionner, quoiqu'elles soient incomparablement moins productives que celles dont nous venons de parler.

Cuba. — On voit parmi les produits de l'île de Cuba un minerai d'or qui n'est pas abondamment exploité, mais dont le gisement présente un intérêt spécial. Ce métal est disséminé en particules si fines qu'elles sont ordinairement indiscernables. La roche qui les renferme est un silicate magnésien, de nature voisine de la serpentine, sur laquelle on remarque de nombreuses surfaces de frottement. Cette roche aurifère est extraite, depuis peu de temps, à la mine de Guaracabulla, propriété de D. Blas Domingo de Toron. Sur plusieurs points, elle paraît avoir été exploitée autrefois par les Indiens.

D'après les renseignements fournis par M. l'ingénieur Fernandez de Castro, cette serpentine est associée à des roches amphiboliques, à la pyrite de fer et au mispickel. Ce gisement est donc tout différent des filons de quartz aurifère, dont il vient d'être question ; il rappelle à la fois, par ses con-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ditions géologiques, ceux de la Nouvelle-Grenade et de Reichenstein, en Silésie.

Chili. — Outre le grand nombre d'alluvions aurifères, que possède la république du Chili, on y rencontre des filons d'or dans tout le terrain granitique du littoral et de la chaîne des Andes. Mais les anciennes mines d'or sont abandonnées, attendu que celles de cuivre, d'argent et de charbon sont plus favorables aux mineurs. On a produit, en 1866, une valeur de 3,500,000 francs d'or, qui a été monnayé à Santiago.

Guyane française. — A la Guyane française, une compagnie, organisée en 1863, lave, depuis lors, les alluvions aurifères, au moyen de 300 ouvriers indiens et chinois. L'extraction de l'or a été successivement : en 1863, 131 kilogrammes; en 1864, 205 kilogrammes; en 1865, 218 kilogrammes et en 1866, 288 kilogrammes.

Venezuela. — Ces gisements aurifères paraissent se prolonger dans la Guyane des États-Unis de Venezuela, ainsi que l'apprennent les échantillons que M. Eugène Thirion, consul et commissaire de Venezuela, a exposés, et la note qu'il a bien voulu me remettre à ce sujet.

En 1849, un Français, le docteur Plassard, découvrit de l'or dans la petite rivière de Yuruari, à environ 300 kilomètres au sud-est de Ciudad Bolivar, capitale de l'État. L'or se rencontre dans quatre gisements distincts : 1° dans de nombreux filons et amas de quartz qui sillonnent les montagnes, associé, comme d'ordinaire, à de la pyrite de fer; 2° dans beaucoup de blocs de quartz épars et roulés, provenant de la destruction de ces filons; 3° en grains et en pépites, de grosseur très-variée, dans une terre colorée en rouge par le peroxyde de fer, que les mineurs appellent *terre de fleur* (tierra de flor) parce qu'elle se trouve à fleur de terre, et rarement sur plus d'un mètre d'épaisseur; 4° dans l'argile qui recouvre la roche sous-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jacente et jusqu'à des profondeurs qui atteignent 25 mètres.

Jusqu'en 1857, cette découverte n'avait attiré qu'un petit nombre d'ouvriers (100 à 300), qui produisaient annuellement 500,000 à 800,000 francs d'or. Cependant des découvertes très-heureuses qui produisirent jusqu'à 2,500 francs d'or dans une seule journée, pour trois hommes, attirèrent l'attention. Quelques cabanes, élevées sur les points les plus riches, sont l'origine du village de Nouvelle-Providence, assez considérable aujourd'hui, qu'on nomme aussi Caratal. La population des mines qui, jusqu'en 1864, ne dépassait pas 1,000 à 1,200 âmes, atteignait, en 1867, au mois de mai, le chiffre de 5,000. Cependant, tout le travail se fait encore de la manière la plus grossière; le quartz aurifère, préalablement calciné dans des fours, est broyé, à la main, dans des mortiers en fonte, à l'aide de marteaux ou même à l'aide de pierres.

En présence de ces moyens grossiers d'action, on croit pouvoir se représenter comment, dans une antiquité reculée, on exploitait les roches quartzeuses.

La terre rouge et l'argile ne sont plus exploitées lorsqu'elles ne donnent que 1 franc par *batea* ou sébille de terre d'environ 10 kilogrammes, c'est-à-dire trois dix-millièmes en poids ou 100 francs par tonne.

Outre le quartz blanc laiteux ordinaire, qui sert de gangue à l'or, on trouve du quartz coloré en rouge ou en brun, qui fait probablement partie des mêmes filons. La roche encaissante consiste en pétrosilex ou eurite, quelquefois rubanné, à la manière de roches métamorphiques. Des bancs de kaolin sont quelquefois subordonnés aux roches aurifères.

La région aurifère explorée par le docteur Plassard, a, au moins, des dimensions de 280 sur 330 kilomètres. Mais d'une part, on a trouvé l'or à Caïcara, à plus de 800 kilomètres à l'ouest de Yuruari, et d'autre part, les Anglais exploitent l'or, à environ 250 kilomètres, à l'est du Caratal; plus loin encore, vers le sud-est, sont les lavages aurifères de la Guyane française. L'or de cette partie de l'Amérique appar-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tient peut-être au même groupe que celui du Brésil, ou au moins celui qu'on exploite, à la partie septentrionale de cet empire, dans le bassin de Uraîcoera.

§ 10. — Minerais de platine.

Le seul minerai de platine exposé, en dehors de la magnifique exhibition de platine ouvré de M. Mathey, est celui de l'Oural, que l'on exploite, par lavage, principalement à Nijné-Taguilsk, et dans le district de Goroblagodat. Depuis que le gouvernement russe a cessé de fabriquer de la monnaie en platine, la production a diminué; elle varie de 840 à 480 kilogrammes; ce dernier chiffre représente celle de 1863, et le premier, celle de 1862.

Certaines pépites de l'Oural qui ont été exposées sont remarquables par la propriété d'être magnétipolaires.

Le platine qui, dans beaucoup de régions du globe, a été rencontré dans les sables aurifères, a été trouvé récemment, dans les mêmes conditions, en Californie, mais seulement en petite quantité.

CHAPITRE VI.

MINÉRAUX SERVANT AUX INDUSTRIES CHIMIQUES.

§ 1. — Oxydes de manganèse.

La France n'a d'exploitation de manganèse de quelque importance qu'à Romanèche, dans le département de Saône-et-Loire.

Dans une partie de l'arrondissement de Grasse, département les Alpes-Maritimes, par exemple, près de Roquefort, on fait, en ce moment, des recherches de minerai de manganèse, sur des gîtes qui, sans être très-productifs, présentent de l'intérêt, par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur extrême ressemblance avec les gîtes de minerai de fer pisolithique, que l'on connaît dans diverses régions de la France. Ce minerai remplit, en effet, une série de crevasses dans des couches calcaires, que l'on rapporte à l'étage néocomien ; ces crevasses sont irrégulières et tortueuses, le plus souvent verticales ; leurs parois présentent, en général, des effets évidents d'érosion. Le minerai de manganèse y est accompagné de quartz, tantôt à l'état de jaspe, tantôt à l'état cristallin.

La pénurie en manganèse est d'autant plus regrettable aujourd'hui, que ce minerai ne sert plus seulement, comme autrefois, à la fabrication du chlore et dans les verreries, mais qu'il paraît utile dans la fabrication du fer aciéreux.

C'est en vue de l'industrie du fer que des recherches ont été faites dans le département de la Haute-Saône sur des filons de manganèse, que l'on cherche à exploiter dans les communes de Faucogney, Esmoulières et Amont, et en quelques points des Pyrénées.

En 1864, la France a produit 2,915 tonnes d'oxyde de manganèse, qui proviennent, pour les huit neuvièmes, de Romanèche (Saône-et-Loire) ; les départements des Alpes-Maritimes, du Tarn et de l'Ariége ont fourni le reste.

Les riches minerais de manganèse du Nassau sont disposés dans de petits bassins déposés sur la dolomie dévonienne, mais probablement beaucoup plus récents et peut-être même tertiaires.

Leur production a été, en 1864, de 14,460 tonnes. Les autres parties de la Prusse n'ont guère fourni qu'un dixième de cette quantité.

L'un des gisements de manganèse exploité en Italie, celui de Saint-Marcel, dans la vallée d'Aoste, est plus célèbre par la beauté et la variété des minéraux cristallisés qu'il fournit que par le chiffre de son extraction, qui est peu élevé. L'Italie n'a extrait en tout, dans l'année 1865, que 826 tonnes d'oxyde de manganèse, d'une valeur de 41,700 francs.

Les grandes exploitations de manganèse de la province

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de Huelva, en Espagne, sont représentées par des blocs volumineux de minerai. La production de l'Espagne en oxyde de manganèse, qui n'était que de 6,460 tonnes en 1862, et de 14,860 tonnes en 1863, a atteint, en 1865, le chiffre de 24,430 tonnes.

Comme ceux de l'Espagne, les gîtes de la province d'Alemtejo, en Portugal, sont, concentrés à peu près sur la zone des amas pyriteux. En général, ces amas n'arrivent pas à une profondeur considérable et sont seulement exploités à ciel ouvert. Dans les diverses localités et, entre autres, à San-Domingos, les amas formés par la pyrolusite et d'autres oxydes de manganèse, sont subordonnés aux schistes cristallins et aux quartzites, de même que les amas pyriteux.

De très-beaux minerais de manganèse, consistant en pyrolusite et en manganite en partie cristallisées, ont été apportés de la Nouvelle-Écosse, où ils se trouvent en abondance et d'où on les exporte aux États-Unis et même en Angleterre. La quantité extraite à Teny-Cape est évaluée à environ 1,000 tonnes, d'une valeur de 200 à 225 francs par tonne.

L'exposition de Cuba montre aussi des minerais de manganèse, que l'on dit abondants dans différentes parties de l'île, et particulièrement aux environs des mines de cuivre d'El Cobre; mais on ne les a pas encore mis à profit.

Il n'est pas sans intérêt d'ajouter à ce qui précède que l'Angleterre a importé chez elle, en 1866, 48,700 tonnes d'oxyde de manganèse.

§ 2. — Fer chromé.

Parmi les gisements de fer chromé exposés, nous signalerons celui de Alt Orsova, sur la frontière militaire de la Hongrie, où il abonde; celui de Norwége, dont on exporte annuellement 160,000 kilogrammes à Hambourg et en Hollande; un volumineux bloc de Sibérie, des environs d'Ekaterinenbourg, dont la dimension paraît témoigner de l'abondance du mine-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rai. La Grèce expose du fer chromé, renfermé en assez forte proportion dans les serpentines de diverses localités.

Les nombreux gisements de fer chromé, que l'on connaît dans la région orientale des États-Unis, sont représentés par des échantillons venant du Maryland (Rockspring, Cecil County) et de Pensylvanie (Texas, Lancaster County). Dans tous ces gisements, le fer chromé est associé aux schistes talqueux et chloritiques, dans lesquels il se trouve, soit en veines, soit disséminé.

Dans ce gisement, comme dans divers autres, il importe d'être attentif à cette circonstance que le fer chromé passe souvent, par degrés insensibles, au fer oxydulé magnétique qui, comme on le sait, présente le même aspect et dont il est fréquemment mélangé.

Le fer chromé, quoique fréquemment distribué dans les serpentines et autres roches magnésiennes du terrain silurien du Canada n'y a pas encore été exploité. On peut remarquer que dans les roches magnésiennes dont il s'agit, le chrome est accompagné de nickel, de même que dans les météorites.

C'est aussi dans la serpentine que le fer chromé se montre, dans l'île de Cuba, à Holguin, où on le dit abondant.

Le fer chromé a été récemment reconnu, dans la colonie française de la Nouvelle-Calédonie. Son gisement a été étudié par M. Garnier, ingénieur civil des mines; il accompagne, sous différentes formes, les serpentines et autres roches magnésiennes, qui abondent dans la partie méridionale de l'île. Le principal gisement est au Mont-d'Or, sur les bords de la rivière de la Cascade, où ce minerai constitue un volumineux amas. D'après les essais qui ont été faits, ce fer chromé renfermerait 40 à 65 pour 100 de sesquioxyde de chrome. Eu égard à son abondance, il serait peut-être susceptible d'être employé en Europe.

§ 3. — Minerais d'arsenic.

L'arsenic est extrait de divers minerais, principalement de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la pyrite arsénicale ou mispickel et des combinaisons arsénicales de cobalt, au moyen d'un grillage; d'où il résulte principalement de l'acide arsénieux, accessoirement accompagné de sulfure d'arsenic.

C'est ainsi que les minerais du Cornwall ont produit, en 1866, 1,116 tonnes d'arsenic brut, d'une valeur de 32,500 fr.

De même, en Prusse, on l'extrait au Hartz et surtout en Silésie, à Reichenstein. Les minerais arsénicaux de cette dernière localité, qui sont exposés, renferment en même temps de l'or, que l'on a cherché à extraire des résidus de la distillation, au moyen du chlore. La Prusse a fourni, en 1866, 1,226 tonnes d'arsenic brut, d'une valeur de 45,660 francs.

On a recueilli aussi en Autriche 211 tonnes d'arsenic brut, tant en Bohême qu'en Styrie et en Hongrie.

§ 4. — Pyrite de fer.

On sait que le bisulfure de fer, connu sous le nom de pyrite, qui, pendant longtemps, ne servait guère qu'à la fabrication du sulfate de fer et de l'alun, a acquis un emploi incomparablement plus considérable, depuis qu'il est utilisé comme minerai de soufre et qu'il sert à fabriquer directement l'acide sulfurique.

Bien que la pyrite soit un minéral des plus répandus dans une foule de roches, ce n'est que dans un nombre de localités relativement assez restreint qu'elle constitue des masses qui soient avantageusement mises à profit.

France. — En France, on continue à exploiter les amas de Chessy et Sainbel, département du Rhône, sur lesquels MM. Perret ont, les premiers, établi la fabrication en grand de l'acide sulfurique, au moyen des pyrites. En 1866, on a extrait dans ces mines 62,440 tonnes de pyrite, sur lesquelles 3,640 tonnes ont fourni 180 tonnes de cuivre de cémentation.

Dans le département du Gard, aux environs d'Alais, la pyrite forme des amas disposés parallèlement aux couches et à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trois niveaux différents : dans le trias, dans le lias inférieur et dans l'étage oxfordien. Ces amas, sur lesquels sont établies dix concessions, sont alignés sur une longueur de 14 kilomètres, à proximité d'une faille. La production de tous ces gîtes a été, en 1865, de 37,723 tonnes, d'une valeur d'environ 550,000 francs. La fabrique de soude de Salindres, située à proximité, en utilise près du tiers.

Il est à remarquer que ces amas de pyrite du Gard renferment de l'or, comme à Chessy, mais en quantités très-variables, depuis 10 jusqu'à 100 grammes par tonne, sans que ces différences soient sensibles à l'œil ; aussi ne cherche-t-on pas à en extraire ce métal.

A Framont (Vosges), les amas de fer oligiste renferment assez de pyrite dans certaines parties pour qu'on ait tenté de l'exploiter. Le porphyre quartzifère, à proximité duquel ont pris naissance ces gîtes, ressemble à celui de la province de Huelva, en Espagne, dont il sera question plus loin.

Parmi les nombreux gisements de pyrite non encore utilisés en France, on pourrait citer l'argile plastique du bassin de Paris, connue dans le Soissonais sous le nom de terre-noire; la pyrite y est disséminée en particules très-fines, mais sur de grandes étendues, de telle sorte qu'il ne serait pas impossible d'en tirer parti, si l'on arrivait à avoir des procédés de lavage assez simples pour l'isoler.

On peut rappeler que la pyrite est exploitée dans le lignite tertiaire, dans le Bas-Rhin, à Bouxwiller, qui fournit annuellement au delà de 10,700 tonnes de lignite, contenant 12 pour 100 de pyrite, soit environ 1,300 tonnes de ce dernier minéral.

La pyrite a aussi été extraite en Belgique, dans le terrain tertiaire de l'étage miocène, disséminée en rognons dans des argiles.

Belgique. — L'un des principaux gîtes de la Belgique, celui de Rocheux, dont la découverte doit beaucoup aux efforts persévérants de M. de Thier, présente, en quantité considérable,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la pyrite massive, d'une teneur en soufre de 44 pour 100; on a déjà exporté, depuis 1858, plus de 100,000 tonnes. Cette pyrite est avoisinée de calamine et de plomb carbonaté, que l'on exploite également.

La production de la Belgique en pyrite qui, en 1850, n'était que de 4,084 tonnes, était, en 1864, de 28,956 tonnes; il est à remarquer toutefois qu'en 1860 elle avait atteint le chiffre plus élevé de 42,513 tonnes.

Prusse. — Il existe en Prusse, dans la Westphalie, des amas puissants de pyrite, subordonnés aux schistes du terrain dévonien moyen, dans les mêmes conditions géologiques que ceux de Belgique, principalement aux environs de Meggen, sur la Lenne. Un énorme bloc de pyrite massive, remarquable par ses surfaces mamelonnées, à la manière de produits de concrétion, témoigne, par sa pureté, de la richesse de ces gîtes; il ne rend pas moins de 40 pour 100 de soufre. Dans cette localité, où, il y a à peine douze ans, la pyrite était rejetée dans les déblais, on extrait maintenant la plus grande partie de ce qui est fourni par la Prusse et expédié en Angleterre.

Dans d'autres parties de la Prusse, on connaît des gîtes de pyrite qui, sans avoir l'importance des précédents, sont exploités pour l'acide sulfurique, notamment aux environs d'Iserlohn, dans le terrain dévonien supérieur; aux environs de Musen, en filons dans le terrain dévonien; à la Vieille-Montagne, près d'Aix-la-Chapelle, en amas dans le calcaire carbonifère; enfin au Hartz, à Stolberg, et surtout au Rammelsberg, près Goslar, en filons et en amas, dans le terrain dévonien. Dans cette dernière localité, la pyrite s'est en outre épanchée dans le terrain de trias.

La production de la Prusse, en pyrite de fer, s'est élevée, en 1865, à 38,248 tonnes, d'une valeur de 407,000 francs. On peut y ajouter la pyrite qui est mélangée à l'argile et au lignite et que l'on traite comme minerai d'alun, principalement aux environs de Bonn, où elle se trouve dans le ter-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rain tertiaire ; elle correspond à une production de 15,070 tonnes de minerai d'alun, d'une valeur d'environ 40,000 francs et 1,650 tonnes de pyrite, pour la Hesse électorale.

Suède et Norwége. — Des massifs de pyrite, tels qu'on en connaît depuis longtemps en Suède, par exemple à Fahlun et près de Dylta, province d'OErebro, associés au cuivre, ont été rencontrés en différentes parties de la Norwége et sont exploités particulièrement aux environs de Trondhjem. Ils ont fourni, en 1865, 11,200 tonnes, d'une valeur de 228,000 francs, qui sont exportées principalement en Angleterre.

Iles Britanniques. — L'exploitation de la pyrite s'est développée en Irlande, particulièrement dans le comté de Wicklow, où elle accompagne la pyrite de cuivre et où l'on en a extrait, en 1861, 91,803 tonnes, d'une valeur de 933,000 francs, et en 1866, 112,686 tonnes, d'une valeur de 1,475,000 francs. Ces pyrites sont utilisées à Dublin, Cork et Belfast, pour fabriquer de l'acide sulfurique et les sels de soude dont la fabrication est connexe. Quelques comtés de l'Angleterre, en tête desquels se trouvent le Cornwall, ont aussi fourni de la pyrite, de telle sorte que la production entière du Royaume-Uni a été, pour 1866, de 135,000 tonnes, d'une valeur de 1,950,000 francs.

La consommation de pyrite en Angleterre s'élève, dans la même année, à 244,596 tonnes, d'une valeur de 16,177,475 francs. Il faut y ajouter le soufre proprement dit, qu'on importe dans la quantité qu'on indiquera plus loin.

Italie. — Le gîte de pyrite de Brozzo, en Piémont, bien connu par la beauté des minéraux cristallisés qu'il fournit, de même que les amas de manganèse de Saint-Marcel, est d'une grande puissance et cependant sa production est faible.

L'Italie n'a, en effet, donné, en 1865, que 4,550 tonnes de pyrite, d'une valeur de 25,900 francs.

Espagne. — Les puissants amas de pyrite cuprifère, situés

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans le sud de l'Espagne, particulièrement dans la province de Huelva et dans la Sierra de Tharsis, qui sont subordonnés aux schistes anciens, continuent à fournir des quantités très-considérables de pyrite de fer, qui sert à la fois de minerai pour le soufre et pour le cuivre qu'elle contient.

Ces mines remontent à des époques antérieures à l'occupation romaine. L'importance de ces antiques exploitations se reconnaît, sur d'intéressantes photographies, par la vaste dimension des excavations. Elles ont produit, en 1863, 246,137 tonnes de pyrite, d'une valeur de 3,907,000 francs.

Portugal. — La grande zone métallifère de la province de Huelva se prolonge en Portugal, dans la province d'Alemtejo, où elle s'étend sur une longueur de 110 kilomètres. Une exploitation, reprise il y a neuf ans seulement, celle de San-Domingos, est devenue, dans ce court laps de temps, des plus considérables, grâce à l'énergique activité déployée par M. James Mason, aujourd'hui baron de Pommarão. Les plans et coupes détaillés, qui sont exposés, montrent la vigueur avec laquelle est poussée l'exploitation et la régularité des travaux. C'est un amas, ayant 600 mètres sur sa plus grande longueur connue, et 60 mètres de puissance, mesurée à 44 mètres au-dessous de la surface. Il est subordonné aux phyllades, et, comme ceux de la province de Huelva, à proximité de porphyres feldspathiques quartzifères, à l'apparition desquels se rattache sans doute la formation de tous ces amas métalliques.

Le minerai consiste en pyrite de fer, donnant 49 à 50 pour 100 de soufre, et tenant, en outre, en moyenne, 3.5 pour 100 de cuivre. Les Romains ont ouvert de larges excavations sur cet amas, comme sur d'autres de la même région; ils sont descendus à plus de 20 mètres au-dessous de la galerie d'écoulement qu'ils avaient percée, et les scories amoncelées, sur une grande surface, autour de ces excavations, témoignent de l'activité extraordinaire de ces anciens mineurs. Ils se bornaient à enlever le minerai le plus riche, qu'ils

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

savaient très-bien reconnaître, et abandonnaient le minerai le plus pauvre en cuivre; de là les irrégularités de leurs travaux, qui ont été une source de difficultés pour les exploitations modernes.

On s'est établi à un étage situé à 12 mètres plus bas que la galerie des anciens. A mesure qu'on avance en profondeur, on exécute d'énormes travaux de déblais à la surface, pour tâcher d'enlever le massif stérile, de 32 mètres d'épaisseur, qui recouvre la surface de l'amas, et en faciliter l'exploitation. Le volume à enlever n'est pas de moins de 1,400,000 mètres cubes. Ce travail une fois accompli, on pourra porter l'extraction annuelle, qui est de 160,000 tonnes, à 200,000 tonnes, c'est-à-dire à plus des deux tiers de la totalité demandée par l'industrie anglaise, pour ses fabriques de produits chimiques.

Un volumineux bloc de $1^{m}60$ de hauteur qui figure dans les produits minéraux du Portugal, montre combien cette pyrite est exempte de gangue; il est accompagné d'autres blocs, qui représentent les schistes des parois dans leurs principales variétés, ainsi que le porphyre quartzifère voisin.

Le développement de la mine de San Domingos est, en grande partie, une conséquence de l'emploi des moyens économiques de transport. Un chemin de fer de 18 kilomètres de longueur, qui joint la mine à la rive gauche de la Guadiana, a résolu une partie du problème; les travaux qui ont rendu la rivière praticable, pour de grands navires, sur une longueur de 40 kilomètres, ont fait le reste. En même temps, on ouvrait dans les roches escarpées de la rive le port de Pommorão, pour charger directement sur les navires le minerai descendu des wagons. Ce chemin de fer, desservi d'abord par des mulets, l'est aujourd'hui presque entièrement par des locomotives, au nombre de 10, dont 5 toujours en service.

C'est ainsi que la mine de San Domingos a pu s'emparer d'une partie du marché de l'Angleterre, en y versant chaque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

année des quantités croissantes de pyrite, depuis 1859, époque à laquelle le premier navire a été chargé à Pommorão.

Au lieu d'un simple ermitage, qui existait, en 1858, sur tout le versant occidental de San Domingos, il y a aujourd'hui plus de 500 maisons, une église, une école, une station de chemin de fer et un hôpital. Le nombre des ouvriers employés dans la mine est de 2,000, dont 800 aux travaux souterrains; il y a en outre une machine à vapeur d'épuisement de 80 chevaux et 120 mulets. On établit en ce moment, pour le traitement métallurgique du minerai, une usine destinée à avoir 200 fourneaux de grillage et des appareils de cémentation, afin de séparer le cuivre par voie humide.

Il faut remarquer que l'amas de San Domingos ne paraît pas se poursuivre dans la profondeur, avec les belles dimensions qu'il a près de la surface. Il s'amincit vers le bas, et déjà il se réduit à une très-faible épaisseur à la profondeur de 140 mètres, ainsi qu'on peut le reconnaître sur les plans exposés. Ces mêmes plans témoignent également de la vigueur et de la régularité avec laquelle les travaux sont poussés.

Deux autres amas de pyrite de fer cuivreuse sont situés dans l'alignement de San Domingos et dans les mêmes conditions géologiques : ce sont ceux d'Aljustrel et de Grandola ; tous deux aussi ont été l'objet de travaux considérables de la part des anciens. On s'occupe en ce moment de leur étude, et l'on peut croire que la mine de San Domingos ne restera pas seule de son espèce, dans cette partie du Portugal.

Il n'est pas sans intérêt de voir le mouvement d'exportation de la pyrite de Pommorão, depuis l'origine, en 1859, jusqu'au 31 décembre 1866.

	Tonnes.	Navires.
1859	7.887,565	41
1860	36,892,109	163
1861	45.020.890	232
1862	56.344,720	290
1863	115,383,170	527
1864	124,975,935	563
1865	142,478,595	562
1866	167,028,402	544

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au total, l'exportation s'est élevée à environ 700,000 tonnes, chargées dans 2,722 navires.

On voit quelle est l'importance industrielle de ce groupe d'amas pyriteux, qui s'étend de l'Espagne en Portugal.

Canada. — Il existe au Canada un gisement considérable de pyrite de fer, que l'on s'est mis à exploiter pour en expédier le minerai aux États-Unis, où il sert à la fabrication de l'acide sulfurique. On a remarqué précédemment que du cobalt se trouve, en quantité très-notable, dans certaines parties de cet amas. Il existe, dans cette même région, plusieurs autres amas volumineux de pyrite de fer, qui ne sont pas exploités. Tous sont subordonnés aux couches de gneiss du terrain laurentien, de même que les amas de magnétite et d'oligiste qui ont été signalés.

§ 5. — Soufre.

L'exploitation du soufre natif a perdu de son importance depuis que le bisulfure de fer, connu sous le nom de pyrite, est utilisé, en beaucoup de lieux et en très-grande quantité, pour fournir une partie de son soufre, ainsi qu'on vient de le voir.

Le soufre natif n'est exploité en France que dans une seule mine, de peu d'importance, située aux Tapets, près d'Apt (Vaucluse). Il imprégne une couche de calcaire marneux, dont l'épaisseur moyenne est de 50 centimètres, et dans laquelle la teneur va de 20 à 25 pour 100. Mais la proportion de soufre va en s'affaiblissant graduellement, à partir d'un point central sur lequel a été foncé le puits principal, de telle sorte que le gîte ne s'étend guère que sur environ 2 hectares. On voit à l'Exposition un bloc volumineux, représentant l'aspect du gîte, ainsi que des calcaires situés à 12 mètres au-dessous de la couche de soufre, dans lesquels abondent des coquilles. De même qu'en Sicile, on a trouvé aux Tapets de la strontiane sulfatée cristallisée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comme autre analogie, il convient d'ajouter que le soufre a été rencontré dans le département du Gard, à Barjac, dans un terrain d'eau douce, où il accompagne le lignite; on l'a même trouvé en assez grande quantité pour qu'il ait été recueilli et vendu pour soufrer la vigne.

Ces deux gîtes présentent surtout de l'intérêt, au point de vue théorique, par leur ressemblance avec les dépôts de même nature, mais beaucoup plus développés, que l'on connaît en Italie et en Sicile.

Le plus important gisement de soufre que l'on connaisse, celui de la Sicile, est représenté par une riche et belle collection d'échantillons composée par M. S. Mottura, ingénieur des mines; on y remarque des marnes avec empreintes de poissons, rappelant celles d'OEningen, près du lac de Constance. A côté des beaux échantillons de strontiane sulfatée, on expose de très-beaux cristaux, d'un bleu verdâtre, d'un autre compagnon du soufre, le sel gemme; il forme, dans le même terrain, des masses dont l'épaisseur atteint 20 mètres. D'après le catalogue joint à cette collection, l'auteur considère tous ces terrains à soufre et à gypse, sur l'âge desquels on a longtemps discuté, comme appartenant au terrain tertiaire et à l'étage miocène.

C'est au même niveau géologique qu'appartiennent les dépôts de soufre de la Romagne, qui continuent à être exploités et à donner des produits importants. Certains échantillons présentent des couches alternantes de marne et de soufre, si minces que, sur un décimètre, on peut compter au moins dix de ces alternances, qui paraissent avoir été formées avec lenteur. Le même groupe de couches renferme du gypse, du lignite et du bitume. Plusieurs échantillons montrent l'association intime du bitume au soufre, et certaines marnes, imprégnées de soufre, exhalent absolument l'odeur du calcaire asphaltique, tel qu'on l'exploite, par exemple, à Lobsann (Bas-Rhin).

Sur 615 soufrières de la Sicile, 247 étaient abandonnées en 1864.

La production a sextuplé depuis 1830. Cette progression

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

augmente encore, malgré l'état imparfait des moyens d'exploitation, l'absence de voies économiques de transport et la concurrence de la pyrite ; c'est ce que montrent les chiffres suivants :

1851	94,985	tonnes.
1856	148,052	—
1861	156,645	—
1865	159,657	—
1866	184,173	—

En Romagne, la mine qui a le plus produit est celle de Perticara de Talamella, d'où l'on a tiré 20,800 tonnes métriques de minerai. Deux autres mines ont fourni à peu près 9,000 tonnes chacune.

Le soufre produit par l'Italie s'est réparti ainsi en 1866.

Angleterre	66,166	tonnes.
France	38,427	—
Autres pays	72,825	—
Sicile	6 745	—
	184,163	tonnes.

Le soufre extrait en Espagne dans la province de Murcie, à Lorca, ainsi qu'à Teruel, appartient au terrain tertiaire d'eau douce. Il est associé à des marnes et à des calcaires, qui contiennent des coquilles et des poissons. Il en est de même à Conil, près Cadix, localité où le soufre n'est exploité aujourd'hui qu'en quantité insignifiante, mais qui fournit de très-beaux cristaux aux collections, et dont provient le magnifique échantillon exposé par l'Académie des sciences de Madrid ; le soufre, en volumineux octaèdres, y est associé à de la chaux carbonatée cristallisée, dans une marne grise. L'Espagne a produit, en 1862, 12,639 tonnes de soufre, d'une valeur de 600,000 francs environ.

En Autriche, on a produit, en 1865, 1,867 tonnes de soufre, qui proviennent principalement des dépôts exploités à Swoszowice, non loin de Cracovie, ainsi qu'à Radoboy, en Croatie, dans un terrain tertiaire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On peut également mentionner le soufre d'Égypte, dont des échantillons sont exposés, bien qu'il soit à peine exploité. Les couches tertiaires, qui forment à peu près exclusivement le littoral de la mer Rouge, du 30° au 19° de latitude, renferment, sur une foule de points, le sel gemme et le gypse, et beaucoup plus rarement le soufre. On en connaît deux gisements, visités récemment par M. Petitgand, ingénieur civil. L'un, situé à 300 kilomètres au sud de Suez, occupe presque entièrement la petite presqu'île de Jemseh, qui a 1.5 à 2 kilomètres de longueur. Le soufre paraît s'y trouver dans toutes les couches, qui se montrent, depuis le niveau de la mer jusqu'au sommet de la falaise, sur une hauteur de 80 mètres. Le minerai de cette localité renferme, dit-on, en moyenne, 35 pour 100 de soufre, c'est-à-dire que, en suivant la méthode sicilienne, on pourrait en retirer 15 pour 100. Un autre gîte est situé à Djebel-Kébril-Ranyah; signalé par les auteurs arabes, au XIVe siècle, et antérieurement par Hérodote, il paraît être étendu et appartenir à des couches de 10 à 12 mètres de puissance.

C'est avec une identité remarquable de conditions géologiques et chimiques que le soufre a été précipité en Sicile, en Romagne, en Égypte, dans le Vaucluse, et dans les divers terrains stratifiés dont il vient d'être question.

Il existe aussi, non loin de Rome, aux environs de Canale, et près de Monte-Virginio, un dépôt de soufre que l'on essaie d'exploiter, et qui est en relation plus directe avec les phénomènes éruptifs que ceux du versant oriental de l'Apennin. Il imprégne des tufs volcaniques, à proximité de protubérances trachytiques, dont la sortie est rapportée à l'époque tertiaire moyenne. La carte de cette contrée intéressante, que l'on doit à M. le professeur Ponzi, fait bien connaître les conditions dans lesquelles se sont formés, sur quatre points, ces dépôts de soufre, plus intéressants par leur gisement que par leur importance industrielle.

On voit aussi à l'Exposition du soufre produit, à l'époque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

actuelle, par les solfatares de l'île de Milo, que l'on recueille dans des tufs trachytiques. On extrait, par an, 450 tonnes de soufre pur et autant de terre à soufre.

Du soufre a été rencontré dans différentes parties de la Californie, et particulièrement dans le voisinage du lac Clear, où il a été apporté, comme l'acide borique lui-même, par des actions volcaniques toutes récentes. On tente de l'exploiter.

§ 6. — Sel gemme.

On sait que le sel gemme constitue des couches puissantes dans les terrains stratifiés, où il occupe des étages différents, suivant les contrées.

En France, en Angleterre, en Allemagne, et surtout en Espagne et dans les Alpes du Salzbourg et du Tyrol, le trias est, sur certains points, riche en sel gemme. Les célèbres gîtes de sel découverts à Stassfurt appartiennent à un niveau inférieur au terrain permien, aussi bien que le gisement bien connu d'Iletzk, près d'Orenbourg, en Russie. Du sel a été rencontré à un niveau plus ancien, aux États-Unis, où il appartient au terrain silurien.

Après le trias, ce sont les terrains tertiaires qui sont les plus riches en sel gemme; c'est à ce groupe et principalement à son étage moyen ou miocène, qu'appartiennent les gîtes de sel gemme bien connus à Wieliczka et dans toute la chaîne des Karpathes, en Galicie, en Moldavie, en Hongrie et en Transylvanie. Il en est de même de celui que l'on connaît, sur une bande très-développée, dans les contrées limitrophes du Caucase, en Arménie, en Perse et en Asie-Mineure, quoique les grès e marnes, de couleur rouge, et le gypse dont il est accompagné, rappellent singulièrement la physionomie générale des couches du trias. L'Espagne, si riche en sel dans son trias, renferme aussi du sel gemme à ce niveau tertiaire.

Dans beaucoup de pays, le sel gemme est d'une abondance pour ainsi dire inépuisable. Aussi les allures de ces couches

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ne sont-elles pas étudiées avec le même soin que celles des substances moins répandues.

Le sel gemme est représenté à l'Exposition par de très-beaux échantillons provenant de divers pays. On citera particulièrement un volumineux bloc, remarquable par sa pureté et sa transparence, provenant de la saline de Friedrichshall, en Wurtemberg ; un groupe de beaux cristaux cubiques de Wieliczka, faisant partie de la collection de S. M. l'empereur d'Autriche ; du sel d'une très-belle couleur bleu d'outremer, provenant de la même localité ; du sel de Hallstadt, en Autriche et de Roumanie ; des blocs de sel gemme des mines impériales de Maros-Ujvar, en Transylvanie, et des échantillons du célèbre gisement de Cardona, en Espagne.

Des cristaux cubiques isolés et d'une limpidité parfaite, proviennent d'un nouveau gisement récemment rencontré, sous les alluvions récentes de la Louisiane, aux environs de la Nouvelle-Orléans.

En France, les mines de sel gemme et les sources salées ne présentent pas la même importance que les marais salants. Cependant elles apportent au marché intérieur un contingent considérable.

Les dépôts de sel gemme de certaines régions, telles que le département de la Meurthe, sont extrêmement abondants, et fournissent plus des deux tiers de la quantité totale extraite en France (1). La seule mine de Saint-Nicolas, le principal producteur de ce département, a tiré de la couche de 21 mètres d'épaisseur qu'elle exploite 60,500 tonnes de sel, dont 32,000 à l'état brut. On extrait, en outre, le sel gemme dans la Meurthe, la Moselle, la Haute-Saône, le Jura et les Basses-Pyrénées.

Tout récemment, un sondage pratiqué dans le département des Landes, à Dax, vient de rencontrer le sel gemme, dans une

(1) La couche de cette mine, de 21 mètres d'épaisseur, est exploitée par des procédés d'abatage à l'aide de l'eau, grâce à l'habile direction de M. Daguin et de M. l'ingénieur Pfetsch.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

position géologique très-remarquable, à côté du pointement de roche éruptive (ophite) qui a donné naissance aux belles sources thermales de cette localité. Les circonstances dans lesquelles le sel se trouve dans la même région de la France, à Villefranque (Basses-Pyrénées), sont très-analogues et diffèrent de ce qu'on observe dans l'est de la France.

La production de la France en sel gemme, en 1864, a été de 167,671 tonnes.

En Angleterre, on extrait le sel gemme dans le Cheshire et et le Worcestershire. En outre, il a été rencontré, il y a quatre ans, dans un forage exécuté dans le nord de l'Angleterre, à Middleborough, à travers le lias inférieur et à une profondeur de 350 mètres. Mais cette couche, qui paraît puissante, n'a encore donné lieu à aucune exploitation. La production respective des gîtes mentionné plus haut a été, en 1866, de 772,000 tonnes, dont 721,000 à l'état raffiné, et de 215,000 tonnes à l'état brut. Celle de l'Irlande, où le sel gemme est exploité près Carrickfergus, est beaucoup moindre ; elle a été de 17,245 tonnes, en 1866.

Jusqu'en 1856, tout le sel produit par la Prusse provenait de l'évaporation d'eaux salines. La découverte de gîtes de sel gemme dans les provinces de Saxe et de Hohenzollern a commencé à modifier profondément cet ancien mode de production, et l'extraction du sel gemme s'est considérablement développée. La principale mine, celle de Stassfurt, à part les sels de potasse qui, sans comparaison, forment son principal produit, a fourni, en 1865, 42,055 tonnes de sel gemme. Les deux autres gisements de sel gemme, ceux d'Erfurt et de Stetten, en Hohenzollern (1858), ne sont encore que très-peu productifs ; mais ils renferment également de très-grandes ressources en sel gemme, et qui seront plus tard mises à profit.

Tout récemment, au mois d'octobre 1867, des travaux de sondage, exécutés sous la direction de M. Krug de Nidda, pour la recherche du sel gemme, viennent d'avoir un plein succès.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A 37 kilomètres au sud de Berlin, à Sperenberg, un forage a été exécuté dans le sol d'une des nombreuses carrières de gypse de la contrée. Poussé jusqu'à 80 mètres dans les couches gypseuses, sans avoir rencontré aucune trace de sel gemme, il rencontra, 2 mètres plus bas, une source salée, et, à la profondeur de 88 mètres, arriva au sel gemme lui-même. Au 20 novembre, le sel gemme était déjà traversé sur plus de 16 mètres, et l'on continuait à y pénétrer.

L'Autriche renferme de nombreux et puissants dépôts de sel dans le Saltzbourg, dans la Haute-Autriche, en Tyrol, en Galicie, en Hongrie et en Transylvanie.

La production de l'Autriche a été, en 1865, de 312,000 tonnes. Les mines de Wieliczka donnent annuellement 67,000 tonnes, dont 39,000 sont destinées, par contrat, à la Russie. Le prix de revient moyen est de 12 francs la tonne. Celles de Maros-Ujvar, en Transylvanie, que l'on a défendues contre les inondations du fleuve au moyen de constructions de béton, produisent annuellement 40,000 tonnes, au moyen de 500 ouvriers.

Le bloc de sel taillé sous forme de statue qui orne l'exposition de la Roumanie provient de la mine d'Okna, en Moldavie. La couche est située au-dessous d'argiles qui renferment à la fois du sel et du pétrole ; le tout paraît appartenir au même étage que le sel de la Sicile.

§ 7. — Sulfate de soude.

Le sulfate de soude, bien que très-répandu dans certains terrains tertiaires de l'Espagne (époque miocène), où il accompagne le gypse, n'est pas très-activement exploité. On voit, à côté de la glaubérite, de beaux cristaux de sulfate anhydre ou thénardite qui l'accompagne.

On a récemment tenté d'exploiter, en Algérie, le sulfate de soude, qui accompagne le sel gemme, si abondant dans certaines régions.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 8. — Sels de potasse.

Le fait le plus remarquable qui se rattache à l'exploitation du sel gemme, c'est la découverte des sels de potasse dans les mines de Stassfurt, en Prusse. Ces sels, déjà signalés, en 1862, dans le rapport relatif à l'Exposition universelle de Londres, au moment où l'on venait de les découvrir, ont donné lieu, depuis lors, à une exploitation de plus en plus active.

Les circonstances géologiques dans lesquelles se trouvent ces sels de potasse sont d'une telle importance pour les découvertes ultérieures, qu'il convient de les rappeler ici en peu de mots.

On sait que les couches salines qui sont subordonnées aux couches de grès bigarré, dans cette localité, et qui sont accumulées sur une épaisseur d'environ 200 mètres, présentent des différences à leurs divers niveaux. On peut y distinguer quatre étages principaux qui sont, en commençant par le bas :

1° Celui de l'anhydrite, ou sulfate de chaux anhydre, consistant en bancs de sel gemme, séparés par des lits minces d'anhydrite, 107 mètres; 2° celui dit de la polyhalite, dans lequel le sel gemme est séparé par des lits minces de ce minéral, consistant en un sulfate hydraté, à bases de chaux, de magnésie et de potasse, $31^{m}50$; 3° celui de la kiésérite, dans lequel le sel gemme est associé à ce sulfate de magnésie hydraté (17 pour 100) et à de la carnallite (13 pour 100); son épaisseur est de 28 mètres; 4° étage de la carnallite ou kalisalz, consistant en une chlorure double de potassium et de magnésium; à cet étage, la carnallite prédomine et forme 55 pour 100, tandis que le sel gemme ne forme plus que 25 pour 100, et la kiésérite, 16 pour 100. On rencontre également dans ce dernier étage de la tachydrite (chlorure double de calcium et de magnésium hydraté), du chlorure de potassium pur ou sylvine, et de la kainite, considérée comme une combinaison hydratée de chlorure de potassium et de sulfate de magnésie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les travaux actuels ont déjà fait connaître l'existence d'un massif de carnallite, correspondant à près de 6 millions de tonnes métriques de chlorure de potassium. Deux puits forés à une distance de 1,200 mètres de l'un à l'autre, l'un à Stassfurt, l'autre à Anhalt, ont présenté des dispositions analogues, mais avec certaines variantes que résume le tableau qui suit :

Étages.	*Anhalt.*	*Stassfurt.*
	Kainite jaunâtre. Carnallite. Sylvine. Sylvine avec kiesérite.	Carnallite. Boracite. Tachydrite rouge. Carnallite rouge. Carnallite blanche.
3	Kiesérite.	Kiesérite.
2	Polyhalite.	Polyhalite.
1	Sel gemme, avec anhydrite.	Sel gemme, avec anhydrite.

Les quantités de carnallite extraites des deux puits se sont élevées graduellement, depuis 1861 jusqu'en 1866, de 2,500 à 150,000 tonnes. Ce sel est traité dans 13 fabriques, qui se sont élevées à proximité pour préparer le chlorure de potassium.

L'immense production de l'industrie de Stassfurt a eu pour résultat de faire baisser très-considérablement, dans différents pays, la valeur des sels de potasse, et, en conséquence, d'étendre les usages du chlorure dans diverses industries, enfin de créer la fabrication de la potasse artificielle, par la transformation des chlorures. Une autre influence a été de permettre l'emploi de ce minéral, à base de potasse, comme amendement, dans la culture de certaines plantes fourragères et industrielles.

L'importance industrielle et agricole des sels minéraux de potasse a, dans ces derniers temps, engagé à les rechercher dans d'autres gisements de sel gemme, en s'aidant des circonstances reconnues à Stassfurt. Jusqu'à présent, en Europe, ces sels n'ont pas été rencontrés ailleurs, en quantités exploitables. Cependant on les a cherchés avec soin dans les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gîtes de sel gemme des Alpes autrichiennes. Ceux de la Galicie sont, en ce moment, l'objet d'études analogues.

Toutefois, un second gisement de carnallite vient d'être signalé, tout récemment, à Maman, en Perse, ainsi qu'il résulte d'un travail présenté à l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg, par M. Adolphe Gœbel.

Le sel gemme présente, dans les terrains de tous les âges où on le rencontre et dans les régions du globe les plus distantes, des conditions géologiques d'une constance extrêmement remarquable. Mais il a fallu des circonstances exceptionnelles pour permettre aux sels très-déliquescents, qui, à Stassfurt, recouvrent les masses salifères, en couches puissantes, de se déposer ou au moins de se conserver, lorsque la mer est venue former les couches qui lui ont été superposées.

Néanmoins, il n'est guère douteux que d'autres localités ne possèdent aussi des sels de potasse, jusqu'à présent restés inaperçus et confondus avec des sels de soude. On arrivera à les reconnaître quand on aura exploré les couches salifères, conformément aux données aujourd'hui acquises, et en ayant pour but spécial de les y rechercher.

En résumé, la découverte de la potasse dans la nature présente quatre époques. Connue d'abord seulement dans les végétaux, elle fut signalée dans le règne minéral par Klaproth, qui, en 1776, la reconnut dans l'amphigène ; ce n'est que plus tard que cette base fut constatée dans le feldspath, par Valentin Rose et Vauquelin. Une troisième phase correspond à son extraction de l'eau de la mer, par le procédé dû à M. Balard. Aujourd'hui on parvient à l'exploiter dans le règne minéral et dans des couches qu'on peut considérer comme des résidus d'anciennes mers géologiques. Une nouvelle ère dans l'histoire de la potasse apparaîtra dès qu'on parviendra à l'extraire du minéral, qui en renferme au delà de 10 pour 100, et qui est si abondamment répandu à la surface du globe, le feldspath.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 9. — Chaux phosphatée ou phosphorite.

Depuis 1857, époque à laquelle M. Elie de Beaumont a fait connaître, dans un travail devenu classique, l'utilité agricole et les gisements géologiques du phosphore, de nouvelles découvertes ont été le résultat de l'attention qui a été donnée à cette substance importante. Le haut intérêt que présentent les phosphates et la facilité avec laquelle ils peuvent rester méconnus, surtout si l'on n'est pas guidé par des considérations théoriques, a engagé à donner ici quelques observations tendant à préciser autant qu'il est possible leurs gisements, en s'appuyant sur les découvertes les plus récentes.

Quoique l'importance du rôle du phosphore dans les animaux et dans les végétaux soit depuis longtemps reconnue, ce n'est qu'assez récemment, il y a vingt-cinq ans à peine, que la présence fréquente de ce corps a été constatée dans les roches les plus répandues, d'où il passe dans le sol végétal. Dès la fin du siècle dernier, en 1788, les analyses, toujours si précises, de Klaproth avaient, il est vrai, démontré la présence du phosphore dans le règne minéral, en le découvrant combiné dans certaines espèces, telles que l'apatite; mais ce n'est que bien plus tard que des procédés d'analyse qualitative, suffisamment exacts, permirent de signaler indubitablement la présence de ce corps dans un grand nombre de roches, soit éruptives, soit sédimentaires. L'un des premiers travaux qui établirent ce fait, par de nombreuses analyses, est celui que fit, dès 1844, M. Fownes, sur des roches de nature variée (1). On reconnut notamment que certaines marnes sont beaucoup plus riches en acide phosphorique que d'autres, et c'est une circonstance dont il importe de tenir grand compte, quand on emploie ces substances comme amendement agricole.

Outre cet état de diffusion du phosphore dans les roches, on

(1) *London philosophical transactions*, t. I, p. 33 (1844).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rencontre aussi ce corps, constituant des gîtes spéciaux, particulièrement à l'état de chaux phosphatée, qu'on désigne sous le nom d'*apatite*, lorsqu'elle est cristallisée, et sous celui d'*apatite terreuse* ou plus généralement de *phosphorite*, lorsqu'elle est dépourvue de cristallisation. Dans ce second cas, la composition chimique ne répond plus à celle de l'apatite proprement dite, notamment en ce qui concerne la proportion du chlore et du fluor : aussi ne saurait-on lui donner le nom d'apatite, et une autre désignation paraît-elle convenable.

Sous cet état terreux, la phosphorite n'a rien qui puisse attirer l'attention. Présentant, selon la nature des substances dont elle est mélangée, des colorations variées, blanche, jaune, verdâtre, noire, elle peut être facilement confondue avec le calcaire impur, l'argile ou les autres substances siliceuses. Un essai chimique peut seul éclairer sur ce point. Il est, à la vérité, des cas dans lesquels la chaux phosphatée, malgré l'insignifiance de ses caractères minéralogiques, se révèle immédiatement par la forme caractéristique, d'origine animale, qu'elle a conservée, ossements, dents, écailles, coprolithes ou carapaces de crustacés. Certains débris phosphatés d'animaux sont même parfois accumulés avec une abondance qui surprend, comme dans la couche remarquable dite *Bone-Bed* (1) qui est située à la partie inférieure du lias, ou dans certaines couches du terrain tertiaire, connues en Angleterre sous le nom de *Crag*.

Le plus ordinairement, la chaux phosphatée se trouve en rognons ou en masses terreuses, qui ne présentent pas de forme organique discernable, et c'est à tort que, dans le commerce, on leur étend le nom de coprolithes, nom que rien ne justifie. Il est possible que, dans le second cas, le phosphate de chaux ait passé aussi par l'organisme animal. Mais, de même que la houille n'a pas toujours conservé la forme des végétaux

(1) Cette couche, que signalèrent, en 1822, MM. Buckland et Conybeare, se retrouve, sur le continent, dans de nombreuses localités et notamment dans le Calvados.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui lui ont donné naissance, le phosphate, celui des os, par exemple, peut avoir été dissous ultérieurement, puis précipité dans les sédiments où on le trouve enfoui; il suffit pour cela de l'intervention d'agents, tels que l'acide carbonique, qui soient très-répandus et qui puissent pénétrer facilement dans les roches, avec l'eau dans laquelle ils sont dissous.

Première découverte des rognons dans les terrains stratifiés. — C'est Berthier, auquel la connaissance des substances minérales doit tant de découvertes utiles, qui, le premier, attira l'attention sur la chaux phosphatée, ainsi disséminée en rognons ou nodules dans les terrains stratifiés. A Vissant (Pas-de-Calais), où la pyrite de fer était exploitée pour la fabrication du sulfate de fer, un chimiste habile, M. Longchamp, avait reconnu que les eaux du traitement de la pyrite effleurie renfermaient de l'acide phosphorique qui s'opposait à la cristallisation. Berthier constata, en 1818, que les pyrites elles-mêmes sont exemptes de phosphore, mais qu'elles sont mélangées de phosphate de chaux, qui se montre parfois en rognons isolés (1). Pour la première fois, en France, on trouvait cette utile substance en quantité notable; jusqu'alors, elle n'avait été rencontrée qu'accidentellement, à l'état d'apatite cristallisée, comme à Chanteloube, près de Limoges, et aux environs de Nantes. Deux ans après, Berthier découvrait la même espèce minérale dans des nodules qui avaient été recueillies au cap de la Hève, près du Havre, dans des couches appartenant au terrain crétacé, comme celles des environs de Vissant (2). Dans ces deux localités, où elle occupe à peu près le même niveau géologique, elle était très difficile à reconnaître, non-seulement à cause de son état amorphe, mais aussi en raison de son association intime avec d'autres substances qui la masquaient, de la pyrite de fer et une argile charbonneuse, à Vissant, du carbonate de chaux et de la glauconie, au cap de la Hève.

(1) *Annales des Mines*, 1re série, t. IV, p. 623 (1819).
(2) *Annales des Mines*, 1re série, t. V, p. 197 (1820).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Poursuite de cette découverte en Angleterre; mise en exploitation. — Ces premiers faits portèrent l'attention, en Angleterre, sur des rognons semblables, renfermés aussi dans le terrain crétacé et dans les grès verts. On doit à M. le docteur Fitton d'avoir décrit avec soin ces rognons phosphatés, dans son important travail sur les couches inférieures de la craie et d'en avoir montré la continuité, sur des points assez distants, dans les comtés de Kent et de Surrey. Bientôt après, en 1848, M. Paine de Farnham annonça que le phosphate de chaux, dont les géologues venaient de mentionner l'existence, avait été employé avantageusement par lui, pour remplacer les os pulvérisés, comme amendement agricole, et que, d'ailleurs, il existe en quantité suffisante pour avoir une valeur économique (1). Les explorations faites aux environs de Farnham confirmèrent pleinement cette assertion (2). Le phosphate minéral ne tarda pas à donner lieu, dans cette partie de l'Angleterre, à une exploitation qui, dès lors, se poursuivit activement.

Poursuite de cette étude en France. — La grande analogie que présentent les couches du grès vert, des deux côtés de la Manche, devait conduire à les rechercher aussi en France, au point de vue de la présence des nodules de chaux phosphatée ou phosphorite. M. Meugy, maintenant ingénieur en chef des mines, en étudiant avec attention différents étages du terrain crétacé, dans le département du Nord et dans les Ardennes, y retrouva, dès 1852, des rognons, dans la position de ceux que l'on exploitait en Angleterre, et, en même temps, en fit connaître à des niveaux supérieurs et jusque dans la craie blanche (3).

En parlant de ces études, il convient de rappeler que c'est dans le laboratoire d'essais de l'École des Mines que ces rognons furent reconnus, comme étant formés principalement de

(1) *Quaterly journal*, t. IV, p. 257.
(2) *Idem* t. IV, p. 258.
(3) Découverte du phosphate de chaux terreux en France. — *Annales des Mines*, 5e série, t. XI, p. 149.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

phosphate et que M. Dufrenoy signala immédiatement le grand intérêt que présentait cette substance. M. Sens, ingénieur des mines, et M. Delanoue, ingénieur chimiste, doivent être également cités, comme s'étant livrés, peu après, à des explorations dirigées dans le même but.

Dès 1855, du phosphate de chaux était extrait à Grand-Pré (Ardennes) par M. Desailly.

Vers la même époque, M. de Molon se mit à étudier la même question, conjointement avec M. Rousseau, ingénieur civil, et il publia le résultat de ses recherches (1). Mettant à profit les études faites tant en France qu'en Angleterre, qui avaient déjà fait connaître l'existence de certains niveaux de phosphates, et prenant en outre pour guide la carte géologique de France de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, il explora une partie de la zone du terrain crétacé inférieur, qui est figuré en vert sur cette carte. C'est ainsi qu'il arriva, aidé de son collaborateur, à reconnaître successivement l'existence de gisements réguliers de chaux phosphatée, dans un certain nombre de départements. Ces gisements se montrent dans le Boulonnais, puis s'étendent, d'une manière à peu près continue, depuis le département des Ardennes, à travers ceux de la Meuse, de la Marne et de la Haute-Marne, jusque dans celui de l'Yonne, entre Novion-Porcien et Saint-Florentin, localités qui appartiennent respectivement au premier et au dernier de ces départements. La zone dépasse 300 kilomètres. Les gisements susceptibles d'être exploités ont été trouvés à un même niveau, appartenant aux couches que les géologues désignent sous le nom de *gault*. Ceux qui ont été rencontrés à d'autres niveaux, n'ont pas présenté, jusqu'à présent au moins, la même régularité, ni la même abondance.

Les explorations que M. de Molon a faites dans les départements de l'Ouest, où se montrent aussi des couches inférieures

(1) Comptes rendus de l'Académie des sciences (décembre 1856, en commun avec M. Thurneisen).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la craie blanche, particulièrement dans les départements du Calvados, de l'Orne et de la Sarthe, n'ont pas été fructueuses comme dans l'Est; les nodules de phosphorite n'y ont été rencontrés qu'en petite quantité : ce qui s'explique par l'absence des couches des argiles de gault dans les affleurements qui ont été étudiés.

Les couches avec rognons de phosphorite, dont nous venons de mentionner le développement dans le Nord-Est, se retrouvent également dans le midi de la France. En 1861, M. Lory, professeur à la faculté des sciences de Grenoble, en faisant l'étude approfondie de la géologie du Dauphiné, y rechercha l'existence de cette même phosphorite, et la reconnut en un assez grand nombre de localités des départements de l'Isère, de la Drôme et de la Savoie. Elle ne s'y trouve qu'en petite quantité, mais aussi à un niveau bien défini, dans une couche assez mince et à peu près continue, qui appartient également à l'étage du gault. M. de Molon a ensuite constaté l'existence de ce même gisement dans le département des Alpes-Maritimes, par exemple, aux environs de Grasse, et toujours au même niveau.

Aujourd'hui la chaux phosphatée est reconnue dans trente-neuf départements. L'Exposition présente une nombreuse série de ces rognons phosphatés, provenant des diverses régions de la France, dont la situation géographique se trouve résumée sur une carte d'ensemble.

Après avoir constaté l'abondance de la phosphorite, M. de Molon pensa qu'il y avait lieu de l'exploiter, et il se mit à l'œuvre. Au point de vue commercial et industriel, la tâche était ingrate ; car il s'agissait de lutter contre les préjugés, et c'est surtout en agriculture qu'il est difficile d'innover. Il n'y a donc pas à s'étonner si cette entreprise, malgré son utilité réelle, n'eut pas le succès qu'elle méritait. La haute protection que l'Empereur accorde à toutes les idées neuves, susceptibles de contribuer à la prospérité du pays, et qui, dès le début, lui vint généreusement en aide, ne réussit même pas

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la soutenir. Toutefois, si ces premières tentatives pratiques n'ont pas abouti d'une manière fructueuse pour ceux qui ont osé les aborder, elles ont ouvert la voie à une industrie nouvelle et acquis désormais une nouvelle source de richesse agricole.

Aujourd'hui le phosphate est extrait par plus de 150 entrepreneurs. Il est pulvérisé, pour les besoins de l'agriculture, dans 50 usines ou moulins. Toutefois, au lieu d'opérer comme en Angleterre, où le phosphate minéral n'est jamais employé qu'après avoir été traité par l'acide sulfurique et amené ainsi à l'état de superphosphate, puis mélangé à une certaine quantité de phosphate des os, on présente généralement en France, aux agriculteurs, la phosphorite à l'état naturel, et n'ayant subi qu'une simple pulvérisation à la meule. On ne pourrait agir ainsi, si les rognons crétacés amorphes, employés dans ce dernier pays, étaient aussi difficiles à désagréger que les phosphates cristallins, tels que celui de l'Estramadure.

Extraction actuelle en France. — Bien que les couches du terrain crétacé, qui renferment la phosphorite, se retrouvent, en France, sur une grande étendue, comme on vient de le voir, on ne l'exploite que dans trois départements : ceux des Ardennes, de la Meuse (canton de Varennes), et, en quantité beaucoup moindre, dans le département de la Marne, aux environs de Sermaise. Ces rognons sont pris, en général, à la surface du sol.

On peut évaluer ainsi la production de 1867 :

Ardennes.....	12,500 tonnes.
Meuse.....	10,500 —
Marne.....	900 —

Le prix de revient actuel varie de 25 à 27 francs le mètre cube lavé, ou environ 18 francs la tonne rendue en gare. Le droit d'extraction payé au propriétaire du sol, qui était à l'origine de 5 à 6 francs par are, s'élève aujourd'hui jusqu'à 8 et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

10 francs. L'argile qui enveloppe les nodules en est séparée dans des lavoirs (1).

Découverte en Westphalie, dans le terrain houiller. — Un gisement de chaux phosphatée, assez abondant pour être exploitable, a été découvert, en Westphalie, en 1861. Il appartient aussi aux terrains stratifiés, mais à des couches d'une autre époque que le terrain crétacé, où il avait été jusqu'alors exclusivement exploité. Il est disséminé dans les argiles schisteuses noires du bassin houiller de la Ruhr, où il est mélangé à de la pyrite et à du carbonate de fer; il est aussi intimement associé aux phosphates de fer, d'alumine, de magnésie, ainsi qu'à une matière charbonneuse. Sa coloration en noir, sa forme en rognons, lui ont valu chez les mineurs le nom de *Nieren packen*. Ce phosphate occupe exactement la même position que le fer carbonaté lithoïde appartenant aux mêmes terrains, et en offre tout à fait l'aspect. Cette remarque n'a pas moins d'importance au point de vue de l'origine de ces phosphates qu'à celui de leur recherche. Ce gisement a été découvert par M. Ferd. Sack, à Sprockhövel; il donne lieu à une exploitation. On convertit la phosphorite en superphosphate, comme en Angleterre, dans une fabrique qui a été établie à Hörde et qui est dirigée par M. Dreverman.

C'est encore Berthier qui, le premier, a signalé cette seconde sorte de gisement de phosphates, en le découvrant dans les couches houillères de Fins (Allier) (2).

Découverte dans le Nassau, au milieu des gîtes de minerai de fer. — On sait que les minerais de fer de certains gisements produisent des fers phosphoreux et qu'ils doivent cette propriété à ce qu'ils sont mélangés de phosphates. La chaux phosphatée vient d'être rencontrée dans le Nassau, non mé-

(1) Comme terme de comparaison, on rappellera qu'il arrive chaque année 208,000 tonnes de guano du Pérou dans la Grande-Bretagne et 47,000 en France.

(2) *Annales des Mines*, 1re série, t. XI, p. 142 (1825).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

langée au minerai, mais en masses isolées et assez considérables pour être exploitées. Déjà, en 1850, de l'apatite avait été signalée, par M. F. Sandberger, dans un minerai de manganèse des environs de Dietz, et plus tard, en 1857, M. Meyer, de Limbourg, trouva, aux environs de Staffel, des masses pierreuses sur lesquelles il eut le mérite de porter son attention, et que l'analyse démontra être formée principalement de phosphate de chaux, renfermant du fluorure. On ne tarda pas à découvrir d'autres gisements et aujourd'hui on n'en connaît pas moins d'une quinzaine dans le Nassau. Ces divers gisements de phosphorite ont été décrits avec détail par M. Stein, ingénieur des mines à Dietz. Aujourd'hui la phosphorite du Nassau est activement exploitée; une partie est exportée en Angleterre. On en a déjà extrait environ 10,000 tonnes; la tonne, qui coûtait dans l'origine 60 francs, se vend maintenant 30 francs.

Découverte analogue en Belgique. — Tout récemment, la chaux phosphatée vient d'être reconnue en Belgique, dans des gîtes de pyrite, c'est-à-dire, dans un gisement ayant de l'analogie avec les précédents. C'est M. de Thier, auquel on doit la découverte de divers gîtes métallifères, qui, le premier, a signalé la présence de cette substance utile en Belgique. Après l'avoir recherchée pendant plusieurs années dans certains gisements de minerai de fer, il en a trouvé un dépôt considérable dans la commune de Baelen, arrondissement de Verviers. Ce gîte de phosphorite affleure sur la limite du calcaire carbonifère, au milieu des argiles qui accompagnent ordinairement la limonite, dont il semble avoir pris la place. On commence à l'exploiter, et les produits, extraits par douze ouvriers, sont vendus en Angleterre.

Exploitation de la chaux phosphatée en Espagne, dans les filons de l'Estramadure. — A la suite de ces découvertes de la chaux phosphatée dans des pays et dans des gisements où on ne l'avait pas encore extraite nous devons mentionner

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les célèbres gisements de l'Espagne qui, il est vrai, sont connus depuis longtemps, mais dont on avait cherché vainement à tirer parti pour l'agriculture et qui viennent d'être remis en exploitation.

Des gisements d'apatite se trouvent en divers points de l'Estramadure, dans la province de Cacerès, notamment à Logrosan et à Trujillo, localités qui sont distantes l'une de l'autre d'environ 50 kilomètres. Ils constituent de nombreux filons dont l'épaisseur est parfois considérable. Ils sillonnent, en général, les roches granitiques et quelquefois aussi le terrain silurien au milieu duquel le granite s'est intercalé, sous forme de protubérances étendues. En 1865, on a exporté de la province de Cacerès 12,800 tonnes; la production s'est élevée depuis lors, mais ne pourra prendre de développement tant que ces gîtes ne seront pas en communication plus directe avec le réseau des chemins de fer. Il est à remarquer que certaines apatites de la province de Cacerès, réputées pures, sont mélangées de quartz ou d'un silicate de chaux, dont la composition se rapprocherait de la vollastonite. Il importe d'autant plus d'être attentif à la possibilité de ces mélanges, que rien ne les fait distinguer à première vue, au milieu de la masse confusément cristalline d'apatite. En outre, d'après M. de Luna, la chaux phosphatée est abondante à Montanchez, localité située à 25 kilomètres de Cacerès; mais ici, elle serait dans le terrain crétacé.

Découverte de filons semblables en Portugal. — De même que les gisements de pyrite et de manganèse, ceux d'apatite se prolongent de l'Espagne dans le Portugal où ils ont été récemment découverts dans la province d'Alemtejo. Ils y forment des filons dans le granite, principalement aux environs de Portalegre et de Marvão. Les recherches se multiplient pour en reconnaître l'importance. Il est à remarquer que cette région de phosphates du Portugal se trouve précisément sur le prolongement de la zone de la province de Cacerès en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Espagne, de sorte que le groupe entier des filons phosphatés s'étend sur une surface assez considérable, qui n'a pas moins de 120 kilomètres de longueur sur 60 de largeur.

Découverte en Portugal de phosphate, dans le terrain crétacé. — Un autre gisement de phosphate, différent de celui qui vient d'être signalé et analogue à ceux de la France et de l'Angleterre, vient d'être également rencontré en Portugal. Des rognons de chaux phosphatée ont été reconnus dans les marnes qui encaissent les couches redressées de sable bitumineux exploitées à Granja, district de Leiria, paroisse de Monte-Real, c'est-à-dire, à la base du terrain crétacé et dans des couches contenant des fossiles d'eau douce, qui paraissent caractériser, dans cette région, l'étage wealdien. On va explorer ce second gisement, qui est situé à proximité de la mer.

Tentatives d'exploitation de l'apatite de Jumilla, dans un gisement volcanique. — L'apatite se trouve encore en Espagne dans un gisement différent. C'est dans les roches volcaniques de Jumilla, dans la province de Murcie, en veines, où elle est associée à du fer oligiste cristallisé et d'où proviennent les échantillons très-élégants que l'on connaît dans les collections. D'après les explorations qui ont été faites, cette apatite s'étend sur une superficie assez considérable pour qu'elle soit, en ce moment, l'objet de tentatives d'exploitation. M. de Luna, qui, depuis longtemps, a porté son attention sur les phosphates de l'Espagne, parvient à dégager l'apatite de sa gangue, en calcinant, dans un four à chaux ordinaire, la roche qui la renferme. Comme cette roche est mélangée de carbonates, si, après calcination, elle est exposée à l'humidité, elle tombe en poudre, tandis que l'apatite, plus cohérente, s'en isole facilement. Les résidus peuvent être d'ailleurs utilisés pour l'agriculture, à cause de leur teneur en phosphates.

D'après ces découvertes récentes, il n'est pas douteux qu'il n'existe dans de nombreuses contrées bien d'autres gisements

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de phosphates, que l'on rencontrera à mesure que l'attention se portera sur ce sujet.

Faits acquis sur les gisements de phosphates et observations qui s'y rattachent. — L'absence de caractères physiques distinctifs rend d'autant plus nécessaire l'étude attentive des gisements de la chaux phosphatée; aussi croyons-nous utile d'essayer de résumer les traits caractéristiques des principaux gisements du phosphore, tels qu'ils ressortent des faits constatés récemment; car cette étude raisonnée peut conduire à des découvertes ultérieures. C'est un des nombreux cas où la théorie éclaire les applications de la manière la plus efficace. En considérant, d'une manière générale, les divers gisements du phosphore, on peut les diviser en trois groupes, selon qu'ils appartiennent aux terrains stratifiés, aux roches éruptives ou aux filons métallifères et amas d'origine analogue.

1° *Chaux phosphatée dans les terrains stratifiés.* — Certaines roches sont intimement mélangées de phosphates. Comme les calcaires et les marnes, que l'on emploie pour amendement, sont très-inégalement riches en phosphore, il est fort utile d'en constater la teneur, par des essais directs.

Mais, à certains niveaux, la chaux phosphatée s'est isolée en rognons ou couches discontinues, qui constituent des gîtes parfois abondants et souvent exploitables. Les principaux niveaux déjà reconnus sont les suivants, qui sont énumérés d'après l'ordre croissant d'ancienneté.

Nous mentionnerons, seulement pour mémoire, les remarquables accumulations d'excréments, connues sous le nom de guano, qui représentent des dépôts de l'époque actuelle, ainsi que la chaux phosphatée, associée à des polypiers, provenant de l'île de Sombrero, qu'on importe en Angleterre.

a. Les terrains tertiaires très-récents, connus en Angleterre sous le nom de *crag*, renferment des couches d'ossements, que l'on exploite dans le Suffolk.

b. M. Becquerel a fait connaître, dès 1821, dans l'argile

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plastique d'Auteuil, près Paris, l'existence de rognons de phosphorite, en même temps que celle de la strontiane sulfatée; mais ce ne sont que des accidents qui, jusqu'à présent, n'ont donné lieu à aucune exploitation (1). Il en est de même des coprolithes connus dans le calcaire grossier. Les rognons de l'argile plastique sont de nature terreuse et souvent mélangés de bitume et de carbonate de chaux, en même temps que de pyrite de fer.

c. Les rognons de phosphate, rencontrés jusqu'à présent dans le terrain crétacé, sont surtout concentrés dans les couches du gault, comme à Grand-Pré et à Nouvion-Porcien. A ce niveau, ils constituent une zone remarquablement étendue; car elle a été poursuivie dans diverses parties de l'Angleterre, dans l'est de la France, depuis les départements du Pas-de-Calais et des Ardennes jusque dans celui des Alpes-Maritimes. Il a été retrouvé, d'une part, jusqu'en Espagne, et, d'autre part, en Bohême, dans l'étage appelé *plaener*, et jusque dans l'intérieur de la Russie.

Le terrain crétacé renferme, en outre, deux autres étages de phosphorite, à deux niveaux plus élevés : l'un sur la limite du grès vert supérieur et à la base des marnes de la craie (Montbois, Saint-Morel, Sainte-Marie, département des Ardennes), et l'autre, plus élevé encore, à la partie inférieure de la craie blanche. Ce dernier a été signalé par M. Meugy, tant dans le département du Nord que dans les Ardennes, aux environs de Rethel. Il est représenté par des rognons blancs, d'un aspect tout différent de ceux des deux niveaux inférieurs, qui sont verdis par la glauconie.

Il importe de remarquer que le phosphate de chaux du terrain crétacé est très-souvent mélangé de phosphate de peroxyde de fer.

Des rognons de phosphate ont été aussi découverts récemment dans le nord de l'Allemagne, dans les minerais de fer de

(1) *Mémoires de l'Institut de France* (1821).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Gross-Bulten, qui appartiennent à la craie supérieure, d'après M. Wicke qui les a signalés. Ils sont jaunâtres et renferment des quantités variables, de 26 à 31 pour 100, d'acide phosphorique, qui est combiné, non-seulement à la chaux, mais aussi à l'alumine et au peroxyde de fer. Ces phosphates sont également associés à une petite quantité de fluorure de calcium et de carbonate de chaux.

On trouve en Russie, dans le voisinage de Koursk, une pierre, qui a reçu le nom vulgaire de *samarode* ou *pierre naturelle*, par opposition à la brique, qui est une pierre artificielle et qui constitue, avec la samarode, l'élément des constructions de ce pays. Cette samarode fait partie de la formation crétacée qui, dans cette contrée, n'offre pas d'autres matériaux consistants. A raison de sa couleur ocreuse et de sa densité, elle a été prise pour du minerai de fer. M. Jasikoff, de Simbirsk, qui avait trouvé des échantillons de cette pierre, envoyés par M. de Keyserling, a reconnu l'identité de cette roche avec une couche analogue qui occupe, dans le gouvernement de Simbirsk, le même horizon géologique. Frappé de la ressemblance de l'une et de l'autre avec les rognons de phosphate de la France, il a eu le mérite de pressentir sa composition, qui a été pleinement confirmée par une analyse. Or, la couche de samarode s'étend sous toutes les collines des environs de Koursk, sur une longueur de plus de 150 kilomètres. Malgré sa richesse en phosphate et en matière animale, cette roche n'est pas encore exploitée; cependant elle pourrait être transportée à un port de la mer Noire; elle reviendrait, dit-on, à Théodosie, à 42 francs les 1000 kilogrammes.

d. Dans le terrain jurassique, on connaît depuis longtemps la couche que l'on a désignée sous le nom de *bone-bed;* elle est très-intéressante, non-seulement par l'abondance des débris d'os et de dents de vertébrés, dont elle est partiellement formée, mais aussi par sa continuité. Elle se retrouve dans le continent en différents lieux, notamment dans le Calvados.

Certaines couches du lias abondent en coprolithes; mais

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

même dans les localités où on les trouve en grande quantité, leur extraction n'a donné lieu qu'à des tentatives insignifiantes.

L'apatite, sous forme de rognons, a été récemment signalée en Franconie, dans les environs de Bodenmais, par M. le professeur Gümbel, dans le terrain jurassique et à deux niveaux principaux.

e. Dans le trias, on connaît aussi, par exemple aux environs de Lunéville, des couches où abondent des coprolithes, dents, écailles et autres débris de poissons et de reptiles.

f. Dans le terrain houiller, nous avons à rappeler les gisements de chaux phosphatée, exploités en Westphalie.

On connaît aussi des couches dans lesquelles abondent les coprolithes et autres débris phosphatés d'animaux, notamment à Burdie-House, près d'Édimbourg.

Enfin de beaux cristaux de phosphate de fer bleu, ou vivianite, qui se sont produits accidentellement dans les houillères embrasées de Commentry (Allier) et des environs d'Aubin (Aveyron), donnent une preuve de la présence de l'acide phosphorique en quantité notable dans les roches carbonifères.

g. C'est au calcaire dévonien que se trouvent superposés les gîtes de fer, dans lesquels la phosphorite a été récemment découverte en abondance, dans le Nassau; mais ces gîtes peuvent être groupés aussi dans les amas métallifères.

h. Certaines couches du terrain silurien du Canada, reconnaissables par les coquilles bivalves du genre lingule, qu'elles renferment en grand nombre, contiennent aussi du phosphate de chaux en quantité considérable.

i. Enfin les couches cristallines associées au gneiss, renferment parfois de l'apatite en abondance. L'un des gisements les plus remarquables est celui du calcaire cristallin, appartenant au terrain laurentien, qui est connu par les dimensions exceptionnelles qu'atteignent parfois les cristaux d'apatite de cette localité. On cite, par exemple, à North-Elmsley, des parties où l'apatite est mélangée au calcaire sur 3 mètres d'épaisseur, et où, sur 1 mètre, elle est à peu près pure, cristalline et par-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

semée seulement de mica. Ces gisements ont depuis longtemps attiré l'attention. En 1864, une compagnie de New-York a commencé à les exploiter, mais ils ne le sont pas encore activement.

2° *Chaux phosphatée dans les roches éruptives.* — Certaines roches éruptives, et particulièrement les roches éruptives basiques, sont riches en phosphore, ainsi que le constate l'analyse. Il y a même des cas où l'apatite s'en est séparée sous forme de cristaux. Parfois aussi elle forme des veines, à l'état amorphe ou confusément cristallin (ostéolite), comme dans la Vétéravie, le Nassau et la Bohême.

3° *Chaux phosphatée dans les filons métallifères ou amas d'origine analogue.* — L'apatite se rencontre quelquefois dans les filons métallifères, où elle accompagne fréquemment les minerais d'étain, en Saxe, en Bohême et en Cornwall. On connaît également l'association de l'apatite cristallisée aux amas de minerai de fer subordonnés au gneiss de la Scandinavie, par exemple, aux environs d'Arendal et de Krageroë, en Norwége, et de Gellivara, en Laponie suédoise. On sait que l'apatite se trouve aussi en Estramadure et dans la région adjacente du Portugal, sous forme de filons qui sont intercalés dans le granite et dans le terrain silurien. C'est dans les amas de minerai de fer, superposés au calcaire dévonien, qu'ont été rencontrés les gisements récemment découverts dans le Nassau et en Belgique.

La phosphorite exploitée en Westphalie occupe la même position que le fer carbonaté du terrain houiller, dont elle forme en quelque sorte le prolongement. La phosphorite, que l'on a rencontrée à Amberg (Bavière), en masses qui atteignent 150 kilogrammes, se trouve également associée à du minerai de fer, qui est superposé au calcaire jurassique et qui est de formation plus récente que ce dernier, peut-être tertiaire.

Il est juste de rappeler que le premier exemple de gisement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

analogue de la phosphorite a été signalé, aux environs de Saint-Thibault (Côte-d'Or) ; elle avait été rencontrée par M. de Bonnard et analysée par Berthier; elle y est associée dans le minerai de fer en grains, superposé au terrain jurassique. Enfin nous mentionnerons certains minerais d'Idria, en Carniole, où le phosphate de chaux a été également découvert par Berthier, mélangé intimement au cinabre.

En terminant cette énumération, nous ne pouvons nous empêcher de remarquer que Berthier a été le principal initiateur des gîtes de phosphates aujourd'hui exploités, non-seulement en signalant, le premier, cette substance à la base du terrain crétacé, mais aussi en la découvrant dans d'autres gîtes très-différents, tels que le terrain houiller (1), le terrain de transition à Quillan (Aude), dans un phyllade où il était intimement mélangé de graphite et de quartz (2), en rognons, dans les amas de minerai de fer en grains de la Bourgogne, ou enfin, mélangé à certaines roches métallifères d'Idria. Cette découverte, dans des gisements aussi variés, d'une substance tout à fait dépourvue de caractères physiques, et qui, jusqu'alors, restait inaperçue, montre la judicieuse pénétration d'esprit dont ce savant éminent a fait preuve dans les nombreuses recherches qu'il a poursuivies, avec persévérance, pendant plus de cinquante ans.

Origine du phosphore dans ses différents gisements. — Si le phosphate de chaux, renfermé dans les terrains stratifiés, se présente fréquemment sous des formes qui rappellent qu'il a passé par la vie, il n'en est pas de même de celui qui est associé aux roches éruptives et aux filons métallifères. Dans ces deux derniers gisements, les phosphates paraissent tout à fait indépendants de l'action des êtres organisés.

C'est donc dans les profondeurs du globe, dont dérivent les roches éruptives, que se trouvent les réservoirs principaux de phosphore; c'est de ces réservoirs intérieurs que les terrains

(1) A Fins (Allier).
(2) *Annales des Mines*, 4e série, t. II, p. 439 (1842).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

stratifiés ont principalement tiré, souvent d'une manière indirecte, le phosphore qu'ils renferment.

Cette dernière conclusion sur la nature primitivement inorganique du phosphore est confirmée, en dehors même du globe terrestre, par la nature des météorites, qui renferment si habituellement le phosphore, combiné à l'état de phosphure et si intimement mélangé au fer métallique qu'elles contiennent.

§ 10. — Magnésie carbonatée ou Magnésite, Écume de mer.

Le carbonate de magnésie est connu des minéralogistes sous le nom de giobertite, mais plus généralement sous celui de magnésite, bien que ce nom ait déjà été donné au silicate de magnésie hydraté.

Longtemps considérée comme un minéral rare, la magnésite a été découverte, en masses pures et considérables, aux environs de Kraubath, en Styrie, où elle est exploitée pour les besoins des laboratoires et de l'industrie.

On l'a aussi rencontrée récemment en Autriche, près de Bruck, dans la vallée de Fragoess, dans des terrains anciens, qu'on rapporte au système silurien. Elle y forme des couches, à la manière du fer spathique, auquel elle ressemble beaucoup pour l'aspect.

Un autre gisement important de cette substance vient d'être découvert à Grochau, près de Wartha, en Silésie, où il est exploité, non-seulement pour préparer des sels de magnésie, mais aussi de l'acide carbonique, exempt d'odeur, et d'un prix de revient très-peu élevé.

Des couches considérables, que l'on rencontre dans les terrains anciens du Canada et que l'on prenait pour du calcaire ou de la dolomie, consistent, d'après les analyses de M. Sterry Hunt, en carbonate de magnésie.

Enfin, cette même substance vient d'être trouvée par M. W.-P. Blacke, dans plusieurs localités de la Californie, où elle constitue des couches pures, atteignant 2 mètres d'épaisseur, et associées à des talcschistes et à de la serpentine.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit, par ces découvertes récentes, que la magnésite est assez abondante pour constituer une véritable roche.

Quant à l'hydrosilicate de magnésie, que l'on connaît depuis longtemps à Vallecas, près Madrid, il est exploité pour faire des fourneaux, sous le nom de pierre folle ; on l'utilisait déjà au siècle dernier.

La Grèce exploite, dans l'île Eubée, un hydrosilicate de magnésie, sous forme de rognons volumineux, que l'on voit également exposés, et que l'on trouve dans le voisinage de masses de serpentine. On exploite, chaque année, 5 à 6 tonnes de cette variété, spécialement connue sous le nom d'écume de mer, et dont la plus grande partie est transportée en Angleterre.

Un hydrosilicate de magnésie semblable, avec empreintes de plantes, se trouve, en abondance, dans la Nouvelle-Galles du Sud, près de Richmond-River. Cette substance, exposée en blocs volumineux, est peut-être susceptible d'être utilisée.

§ 11. — Cryolithe.

Le chlorure double d'aluminium et de sodium, connu sous le nom de cryolithe, présente cette particularité remarquable, d'être en masses puissantes au Groënland, à Ivigtut, près Arsukfjord, sans avoir été encore rencontré ailleurs, si ce n'est, en très-petite quantité, dans l'Oural. Son exploitation s'est encore développée depuis trois ans ; le produit annuel a été d'environ 20,000 tonnes, d'une valeur de 1,400,000 francs ; on y a employé 110 ouvriers, 3 machines à vapeur fixes, et une locomotive de la force de 30 chevaux. Une partie de cette cryolithe a été transportée aux États-Unis, où elle a servi, comme à Copenhague, et jusque dans l'intérieur de l'Allemagne, pour la fabrication du carbonate de soude et de l'alumine pure ; une petite quantité a servi aussi à la fabrication de l'aluminium, conjointement avec l'hydrate d'alumine (bauxite), dont il va être question. Cependant on n'est pas sans inquiétude sur la possibilité de poursuivre cette exploitation dans la profondeur, c'est-à-dire au-dessous du niveau de la mer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 12. — Bauxite.

L'hydrate d'alumine, dont Berthier a signalé l'existence, depuis 1821, aux Baux, près de Tarascon (Bouches-du-Rhône), et qui a reçu, en conséquence, le nom de bauxite, est maintenant exploité pour la fabrication de l'aluminate de soude et pour celle de l'aluminium. Loin de ne former qu'un accident restreint, la bauxite constitue, dans cette région de la France, des gîtes isolés, mais assez nombreux et enchâssés dans le terrain crétacé. Ces gîtes sont alignés suivant une zone qui s'étend, de Tarascon jusqu'à Antibes, sur plus de 150 kilomètres de longueur. Elle est, en ce moment, exploitée dans la commune de Cabasse, dans le département du Var.

En outre, on a rencontré la bauxite au Sénégal et en Calabre. Plus récemment, elle a été découverte en Irlande, aux environs d'Antrim, ainsi qu'en Autriche, à Vocheim, où les gîtes se trouvent sur la limite des terrains triasique et jurassique.

Cette substance serait donc loin de faire défaut, si on lui trouvait un emploi.

§ 13. — Minéraux barytiques.

La baryte sulfatée ou barytine, qui forme la gangue de nombreux filons métallifères, est souvent en masses assez considérables pour qu'on l'exploite pour divers usages, en France, en Allemagne et dans bien d'autres contrées.

On a, en outre, rencontré la baryte carbonatée ou withérite, qui est incomparablement plus rare, mais que l'on trouve, comme gangue de filons de plomb, en Angleterre, assez abondamment pour qu'elle y soit exploitée et importée en France. Les échantillons exposés sont accompagnés de leur analyse qui constate qu'ils sont mélangés, en proportions variables, de carbonate de chaux et de sulfate de baryte. On en a extrait, en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1866, dans le Cumberland et surtout dans le Shropshire, pour plus de 42,000 francs.

§ 14. — Fluorine.

La chaux fluatée ou fluorine se trouve, dans les mêmes conditions que la baryte sulfatée, dans de nombreux filons métallifères. Elle y est également exploitée, lorsqu'elle s'y trouve en masses considérables, soit, en général, comme fondant, soit comme minerai de fluor; dans quelques cas rares, elle sert aussi comme pierre d'ornement. C'est ainsi qu'on l'exploite en France, en Allemagne et dans de nombreuses contrées. En Saxe, on a extrait, en 1865, 1,200 tonnes de fluorine. En Prusse, on a exploité, comme fondant des minerais de cuivre, 4,500 tonnes de fluorine, qui provient presque entièrement du comté de Stolberg, au Hartz, et seulement pour une petite partie des environs de Kamsdorf, en Thuringe.

§ 15. — Acide borique et borax.

L'exploitation des célèbres *soffioni*, qui, en Toscane apportent l'acide borique des profondeurs, au milieu de torrents de vapeurs d'eau, est arrivé à un degré de perfectionnement assez avancé pour qu'elle n'ait pas subi de changement notable dans ces dernières années. On sait que, au lieu de se borner à l'exploiter dans des *lagoni* artificiels, on a fait une application du forage pour provoquer de nouveaux soffioni, en donnant des coups de sonde dans la région où ils tendent à sortir, c'est-à-dire à proximité des serpentines, qui percent les terrains tertiaires. Aux études bien connues qui ont été faites sur la constitution des soffioni, sont venues s'en ajouter de nouvelles, que l'on doit à M. le professeur Becchi.

On évalue la production de la Toscane, en 1863, à 1,294,000 kilogrammes, d'une valeur de 6,500,000 francs;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les trois quarts environ sont expédiés en Angleterre, et près d'un quart en Amérique (1).

La Californie, si bien dotée d'ailleurs, commence à produire des quantités notables de borax. Il n'est pas sans utilité de faire connaître brièvement comment ces nouveaux gisements ont été découverts. L'eau de certaines sources thermales évaporée produisit des cristaux qu'à leur forme on soupçonna être le borate de soude, et qui, en effet, n'était autre chose que ce sel. Cette première observation, faite, en 1854, par MM. Veatch et Trask, donna lieu bientôt à la découverte de borax dans de nombreuses sources, mais seulement en petites quantités. L'éveil était donné ; un chasseur découvrit sur le bord du lac Clear, au milieu d'une poussière blanche, des cristaux, dont un Anglais, employé antérieurement dans son pays à une manufacture de borax, reconnut immédiatement la nature. Des sources thermales, dont quelques-unes atteignent 75 degrés, jaillissent dans le voisinage, avec des jets d'hydrogène sulfuré, et même, dit-on, d'hydrogène carboné. L'eau, dont on extrait actuellement le borax, forme un marais plutôt qu'un lac ; il n'a environ que 1 mètre d'eau. Il couvre de 80 à 160 hectares, suivant les époques de l'année; 120 hectares seulement sont considérés comme sol à borax. On estime que la boue, sur les trois premiers mètres, renferme environ 15 pour 100 de borax, 28 pour 100 de carbonate de soude, et 8,25 de chlorure de sodium. A la profondeur de 20 mètres, la boue, rapportée par un sondage artésien, a donné 3,50 pour 100 de borax. On connaît déjà trois districts offrant des borates.

La Compagnie qui s'est formée livre environ, par jour, deux tonnes de cristaux bruts, que l'on sépare de la boue du lac, par un procédé particulier, et au moyen d'ouvriers chinois. En 1865, on a exporté du borax pour une valeur de 200,000 francs, et, pendant les neuf premiers mois de 1866,

(1) L'Angleterre elle-même a exporté, en 1865, 1,689 tonnes de borax raffiné, d'une valeur de 1,162,000 francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour 210,000 francs. Ces quantités sont suffisantes pour arrêter les importations aux États-Unis.

On annonce encore dans plusieurs autres lacs de la Sierra-Nevada de Californie et de l'État de Nevada, la présence de quantités notables d'acide borique en solution ; mais, nulle part ailleurs, dans cette partie des États-Unis, on n'a trouvé une telle quantité de cristaux naturels.

Les cristaux de borax de Californie rappellent tout à fait ceux des lacs classiques du Thibet ; en Californie, au Thibet, comme en Italie, dans le cratère de Vulcano, l'une des îles Lipari, et dans les soffioni des environs de Volterra, en Toscane, l'arrivée de l'acide borique est en relation avec des émanations volcaniques de vapeur d'eau.

Il en est encore de même en Perse, au lac Ourmiah, où, d'après les observations toutes récentes de l'éminent explorateur des régions transcaucasiques, M. Abich, l'eau, exploitée pour le borax, qui y est dans la proportion de 1/2 pour 100, se trouve à proximité d'éruptions de serpentine et d'euphotide.

L'acide borique est du nombre des corps qui peuvent très-facilement rester inaperçus, lorsqu'il est ainsi apporté par les vapeurs volcaniques. Il en est de même, lorsqu'il est combiné comme dans le borate de chaux ou hayésine; ce minéral, disséminé en rognons, dans la couche de nitrate de soude de Iquique, au Pérou, y a été reconnu en 1851, et est exploité depuis lors. Le borate de magnésie ou boracite (variété stassfurtite), associé aux sels de potasse de Stassfurt, en Prusse, est également difficile à reconnaître, sans une attention spéciale. D'un autre côté, la présence de l'acide borique, en petite quantité, dans beaucoup d'eaux minérales de la France et d'autres contrées, telles que le Canada, sa découverte dans les fumarolles du Vésuve, annoncent que ce corps est beaucoup plus répandu qu'on ne l'avait supposé.

C'est un double motif pour que les géologues et les minéralogistes se rendent bien compte des gisements de cette substance utile.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VII.

MINÉRAUX D'ORNEMENT.

§ 1. — Roches d'ornement tendres. — Marbres et serpentines.

Les marbres, faisant partie d'un autre rapport, ne seront pas examinés ici. On se bornera à mentionner, pour mémoire, les calcaires concrétionnés de la province d'Oran, connus sous le nom d'onyx de l'Algérie, et les beaux marbres-brèches, de teinte rouge, exploités dans la province d'Alger, près de Cherchell, par M. Tardieu.

On remarque à l'Exposition un marbre de Californie, d'un jaune brun, à structure concrétionnée, et rappelant, à part la couleur, l'onyx d'Algérie. Ce marbre, connu sous le nom de *Suissin Marble*, paraît coloré en jaune par une matière organique. Il est peu abondant, et son origine, qui se rattache à l'apparition des sources thermales, explique son étendue restreinte. La Russie expose également un calcaire concrétionné provenant du Caucase, et taillé sous forme de coupes élégantes. L'Italie, l'Espagne, le Portugal, la Grèce, les États-Unis, et divers autres pays, présentent des collections de marbres de nature variée.

En Italie seulement, la valeur des marbres bruts et ouvrés, statuaires et autres, qui ont été exportés, s'est élevée, d'après la moyenne des années 1863, 1864 et 1865, à près de 8 millions de francs.

A part les serpentines bien connues de Lezard, en Cornwall, et de Portsoy, en Écosse, une belle collection de serpentines polies est exposée par le Canada ; ces serpentines proviennent tant des schistes cristallins (terrain laurentien) que des terrains silurien et dévonien. Tantôt elles sont pures, tantôt elles sont constituées par des mélanges de serpentine avec

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

calcaire, dolomie, ou carbonate de magnésie ; on ne les exploite encore d'une manière régulière, que dans une seule localité.

§ 2. — Roches d'ornement dures.

Les roches dures d'ornement figurent en assez petit nombre à l'Exposition, car le haut prix auquel elles reviennent en restreint considérablement l'usage; mais on les trouverait, avec abondance et variété, dans différentes parties de la France et notamment en Corse.

Le porphyre, qualifié de bleu, que les Romains ont exploité dans le département du Var, à Agay, comme l'attestent de vastes carrières dans lesquelles ils ont laissé des colonnes inachevées, vient d'être de nouveau utilisé, depuis qu'un chemin de fer traverse cette partie des montagnes de l'Esterel. Mais ce n'est plus sous forme de colonnes et de pierres d'ornement; c'est parce qu'il fournit un excellent pavé, que l'on emploie à Marseille et à Toulon, et qu'il sert aussi à l'empierrement des routes. Les diallages métalliques d'Arvieu se présentent en assez grandes masses pour qu'on ait cherché à les utiliser comme pierres d'ornement, en les polissant. Il convient de rappeler les porphyres d'Elfdal, en Suède ; les jaspes, porphyres et rhodonites de la Russie, qui se montrent façonnés sous de magnifiques dimensions ; on les taille à Kolywansk, et elles sont, en outre, utilisées pour la fabrication de très-belles mosaïques, imitant celles de Florence; les jaspes de Saint-Gervais, en Savoie, qui sont exploités par la Société dite du Mont-Blanc, et qui se trouvent dans des couches de quartzites appartenant au trias; ces jaspes sont entremêlés de veines de dolomie ; le jade néphrite provenant de la Sibérie orientale, des contrées qui fournissent le graphite; un bloc, présenté par M. Alibert, pèse 456 kilogrammes ; le jade de l'Himalaya ; celui de la Nouvelle-Zélande ; enfin, les marbres verts de la Nouvelle-Calédonie qui, par leur dureté et leur couleur, rappellent le jade.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 3. — Pierres gemmes et pierres précieuses.

Diamant. — Les gîtes de diamants de l'Inde, de la province de Golconde, déjà exploités dans l'antiquité, mais maintenant très-peu productifs, surtout pour l'Europe, ne sont aucunement représentés à l'Exposition. Il en est de même de ceux de Bornéo, dont l'exploitation régulière paraît entravée par de grandes difficultés. Les seuls diamants bruts présentés à l'Exposition, proviennent du Brésil, contrée qui fournit à peu près la totalité de ce que reçoit l'Europe.

Ce n'est pas ici le lieu de signaler les faits intéressants pour le minéralogiste, le géologue et le chimiste, que présentent les collections exposées par M. Coster et par le Brésil. Comme le diamant ne se trouve guère que dans les sables, la nature de la roche, dans laquelle il a pris naissance, n'est qu'imparfaitement connue. Aussi, les divers minéraux, auxquels il est associé dans les sables où on le recherche, tels que les oxydes de titane, connus sous le nom d'anatase et de brookite, apportent-ils un document utile, en nous initiant aux circonstances dans lesquelles ce minéral, si remarquable à tous égards, a pris naissance (1).

Depuis 1843, époque de la découverte du diamant noir dans la province de Bahia, il n'est survenu aucun fait digne d'une mention particulière. La production du Brésil reste à peu près stationnaire ; elle était, en 1866, de plus de 37 kilogrammes : ce chiffre représente d'ailleurs la moyenne des huit dernières années. L'élévation considérable dans le prix du diamant, qui s'est manifesté depuis quelque temps, résulte de ce que les demandes se sont beaucoup accrues en Europe, à la suite d'un développement de richesse et de luxe. On estime que ce prix a graduellement doublé dans l'espace de dix années, de 1856 à 1866. On ne suppose pas que la production puisse

(1) Quant aux échantillons qui ont surtout attiré l'attention, et où l'on voyait le diamant associé au quartz cristallisé, le diamant y avait été fixé, artificiellement et d'une manière très-habile, par les nègres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

s'accroître d'une manière notable, parce que les travaux d'exploitation se font sur des terrains connus et en partie épuisés. D'ailleurs, la rareté des bras, causée par la guerre actuelle du Brésil, et l'abolition de l'esclavage ne contribueront sans doute pas à faire baisser le prix du diamant.

Pendant ces dernières années, l'importation en Europe a varié, comme il suit (1) :

1859	208,035	karats.
1860	182,263	—
1861	161,149	—
1862	164.875	—
1863	201,359	—
1864	153,732	—
1865	177,014	—
1860	182,014	—
TOTAL	1,431,326	karats.

C'est par Rio de Janeiro que sont envoyés en Europe les diamants bruts, dits *brut mina*; et ceux, en très-petite quantité, qui viennent des lavages de Bagagem et de Cuyaba. Le Bahia expédie les diamants bruts, dits *brut sincora*, moins estimés que les premiers (2).

Si l'on imagine que tous ces diamants cristallisés, qui laissent nécessairement entre eux des interstices, soient réunis en une masse pleine et continue, la quantité extraite dans ces dix dernières années fournirait un volume d'environ 100 décimètres cubes, soit un dixième de mètre cube.

Il est quelques autres contrées, où l'on assure avoir rencontré des diamants, dans les sables que l'on y exploite pour or, notamment dans l'Oural, où la trouvaille d'abord contestée, a été de nouveau affirmée; aux États-Unis, où on l'a signalé dès 1836, dans les exploitations de la Géorgie et de la Caroline du Nord, et, plus récemment, en Californie. Des découvertes semblables, mais plus nombreuses, ont été égale-

(1) Je dois ces documents à l'obligeance de M. Martin Coster.

(2) Il est à remarquer que le diamant Sincora a une valeur moindre de 10 à 20 pour 100 que le diamant Mina.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment annoncées en Australie, dans la province de Victoria. Dans le district de Beechworth, on aurait, antérieurement au 1er janvier 1865, trouvé quarante diamants, dont l'un pèserait 17 karats ; de plus, on en aurait trouvé 15 dans la mine de M. Finn, à Woolshed, pesant d'un demi à un karat, de telle sorte que le total serait de cinquante-six. Il est à regretter qu'aucun diamant de ces nouveaux gisements ne figure à l'Exposition. Lors même que ces découvertes seraient parfaitement certaines, comme elles le paraissent, elles n'ont encore aucune importance commerciale.

La découverte que l'on vient d'annoncer tout récemment dans la colonie du Cap, près de Hop-Town, dans les parages de la rivière Orange, de 4 diamants de très-belle eau, et dont l'un pèse au delà de 12 karats, paraît mériter toute confiance et donnera sans doute naissance à des recherches.

On peut mentionner ici une anthracite prenant un vif poli et douée alors d'un éclat adamantin, qui est arrivée en Europe avec l'indication qu'elle proviendrait du Brésil. Bien qu'elle ait la densité de l'anthracite, il est extrêmement remarquable que certaines parties ont une dureté extrême et rayent non-seulement le verre, mais même le diamant (1).

Émeraude. — Les mines de Musso, près de Santa-Fé-de-Bogota, dans la Nouvelle-Grenade, ou République de Colombie, où l'émeraude a été découverte par les espagnols, en 1555, et bientôt après mise en exploitation, sont représentées par de nombreux échantillons qu'exploite M. Lehmann, ingénieur français, pour le compte de la maison Halphen. Les cristaux naturels sont enchâssés sur la roche noire, qui encaisse les filons d'émeraude et qui consiste en calcaire et en schiste charbonneux, que l'on rapporte au terrain crétacé de l'étage néocomien.

(1) M. Dumas, Comptes rendus de 1866.— On peut apprécier l'éclat extraordinaire de cette anthracite, qui est exposée par M. le comte de Douhet, dans une parure où cette substance noire est associée au diamant.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On y voit également l'émeraude d'Égypte, du revers sud-est du Mont Zabarah, que les anciens exploitaient et dont les mines ont été retrouvées par M. Cailliaud, naturaliste distingué, de Nantes; elle est disséminée dans un micaschiste. C'est aussi dans le micaschiste que l'émeraude est depuis longtemps connue dans le Saltzbourg (Heubachthal). Bien que, dans cette dernière localité, elle n'ait pas une teinte très-vive, on cherche en ce moment à l'exploiter. Un micaschiste, tout semblable à ce dernier, sert aussi de gangue à l'émeraude des environs de Mursinsk, dans l'Oural; cette émeraude est représentée par de volumineux échantillons taillés, d'une couleur intense.

Pierres gemmes de Russie. — Dans la région de l'Oural, dont il vient d'être question comme possédant des émeraudes, on trouve encore d'autres pierres précieuses. Ainsi, avec l'émeraude, se trouvent deux autres combinaisons, caractérisées par la présence de la glucine : la phénakite incolore, mais remarquable par son éclat; la cymophane, de la variété dite alexandrite, bien connue par la dimension et la beauté de ses cristaux. On y rencontre encore : l'émeraude de la variété aigues-marine, en beaux cristaux d'un jaune de vin, qu'il ne faut pas confondre avec le beryl, depuis longtemps connu dans la Sibérie orientale à Odon-Tschélon; le corindon, variété saphyr, mais habituellement dépourvu de limpidité; la topaze d'Alabaschka, près Mursinsk, d'une teinte bleuâtre, et à la fois remarquable par la multitude de faces que présentent leurs cristaux, et par leur dimension extraordinaire. Toutes ces substances sont représentées à l'état taillé, de même que le sphène (silico-titanate de chaux), bien limpide et ressemblant à la topaze par sa couleur.

Pierres gemmes du Brésil. — La richesse exceptionnelle du Brésil en pierres gemmes, n'est représentée, à part les diamants, que par peu d'échantillons, entre autres par des cristaux de topaze et d'euclase.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pierres gemmes de Victoria. — La province de Victoria, en Australie, n'est pas seulement à mentionner ici pour les diamants qu'on y a signalés. En exploitant les sables aurifères de cette contrée, on a recueilli une collection d'autres pierres gemmes, que l'on a fait figurer à l'Exposition: particulièrement le corindon, variété saphir, qui a été rencontrée avec des nuances variées et les formes cristallines qu'on lui connaît en Orient, présentant parfois aussi le phénomène de l'astérie. Le corindon se trouve également avec la couleur rouge, de la variété rubis, et même, ce qui est beaucoup plus rare, à l'état vert, de la variété dite émeraude orientale; enfin, avec la teinte jaune qui caractérise la topaze orientale. On trouve encore dans ces mêmes parages les topazes incolores, dites gouttes d'eau, comme celles que l'on connaît déjà à l'île de Flinders, en Tasmanie et qui, à l'état taillé, imitent le diamant; d'autres de ces topazes sont bleuâtres. L'espèce zircon y est abondante et présente des colorations variées. Enfin, on y rencontre le grenat almandin et de nombreuses variétés de quartz hyalin (1).

Il est possible que les gemmes de la Victoria ne présentent pas seulement un intérêt théorique, et que plus tard on en tire parti. On peut remarquer que presque toutes les pierres gemmes ayant une densité supérieure à celle du quartz et des pierres ordinaires, il n'est pas étonnant qu'elles se concentrent avec l'or, dans les résidus de lavage où on les découvre, lors même quelles ne seraient pas associées à l'or dans son gisement primitif.

Turquoises. — Il existe, sur les bords de la mer Rouge, à cinq journées de la pointe d'Akaba, qui forme l'extrémité de la presqu'île du Sinaï, un gisement de turquoises; ces pierres précicuses ont été exploitées dès la plus haute antiquité, ainsi que l'attestent de profondes excavations creusées de main d'homme, des parois de roches couvertes de bas-reliefs égyp-

(1) M. le R. Bleasdale a étudié avec soin ces pierres fines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tiens, des hiéroglyphes et divers vestiges de construction. M. Petiteau, après avoir exploré ce gisement, en 1865, en a repris l'exploitation ; elle se fait dans des roches de grès que l'on fait sauter à la poudre, afin de chercher dans les débris les veines de turquoises qui s'y trouvent disséminées. Ces turquoises consistent en un phosphate d'alumine hydraté, de même composition que celles de la Perse, pays d'où proviennent la plupart des turquoises du commerce.

Pierres diverses. — Le quartz hyalin et incolore, de la variété connue sous le nom de cristal de roche, n'est plus employé aussi fréquemment qu'au moyen âge et à l'époque de la renaissance, depuis qu'il trouve un rival redoutable dans le cristal artificiel. Cependant, son importance s'est aggrandie, depuis les découvertes qu'il a provoquées, dans les lois de l'optique, entre les mains de Malus, d'Arago, de Biot et d'autres physiciens. Certains quartz très-limpides, comme ceux de la Suisse, sont toutefois, impropres aux expériences d'optique. Le Brésil fournit les quartz les plus estimés pour ce genre de recherches. Les cristaux, si volumineux et de si belle apparence, que le Japon envoie à profusion, viennent malheureusement de s'y montrer rebelles.

Les améthystes de la Confédération Argentine, que l'on voit exposées en grand nombre et en volumineuses géodes, se trouvent en abondance dans le Haut-Urugay, au Salto, où elles sont associées aux cornalines et aux agates que l'on importe, depuis quelques années, en Europe, à Oberstein, et que l'on taille dans cette localité, à la place des agates qu'on y extrayait autrefois.

Les améthystes exploitées dans l'Oural figurent à l'Exposition, à l'état taillé et à l'état naturel. On voit également un très-beau groupe d'améthystes du Canada, et un autre de Turquie, des montagnes du Tachova.

Dans le sud de l'Espagne, on exploite du quartz qui, à raison de la belle couleur jaune qu'il acquiert, est vendu sous le nom

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de topaze. Il n'a cependant pas une valeur élevée, car les 550 kilogrammes qu'on a extraits en 1862, ont été vendus 2,400 francs.

La Russie présente aussi, pour la première fois, l'obsidienne chatoyante du Caucase, sous forme de vases et de coupes, dont les reflets sont très-riches. Elle provient du massif du mont Ararat et est taillée à Tiflis.

Enfin, parmi les substances minérales exploitées comme pierres d'ornement, on doit comprendre le succin ou ambre, bien qu'il ne soit qu'une résine fossile.

Le succin est connu et exploité depuis l'antiquité en Prusse, sur les bords de la mer Baltique; il forme des rognons subordonnés aux couches tertiaires et, souvent, il est recueilli, au milieu des matériaux qui proviennent de la démolition de ces couches par la mer, le long des falaises. Tout récemment deux pêcheurs ont découvert, à 15 kilomètres au sud de Memel, dans la baie dite Kurischehaff, une couche d'ambre jaune qui est depuis lors exploitée, nuit et jour, par une flottille de dragueurs et 400 ouvriers. On a obtenu, dans certains jours, jusqu'à 432 kilogrammes de succin, ce qui représente, pour les six jours de travail de la semaine, 2,592 francs.

On voit également à l'Exposition le succin de la Roumanie, que l'on rencontre dans les terrains tertiaires, et qui figure principalement à l'état taillé.

CHAPITRE VIII.

MINÉRAUX DIVERS COMPLÉTANT LA SÉRIE DES MINÉRAUX UTILES (1).

§ 1. — Émeri.

Malgré la fréquence des éléments constitutifs de l'émeri, qui consiste principalement en corindon ou alumine, à l'état confu-

(1) Il ne doit pas être question ici des matériaux de construction, qui sont examinés dans un autre rapport.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sément cristallin et mélangé d'oxyde de fer magnétique (1), l'émeri n'est exploité que dans un petit nombre de contrées.

L'île de Naxos, dans l'Archipel Grec, où l'émeri était déjà exploité du temps de Pline, eut, pendant bien des siècles, le privilége de fournir presque exclusivement l'émeri aux arts. A la fin de 1846, M. Lawrence Smith, de Louisville, aux États-Unis, alors minéralogiste au service de la Turquie, arrivant à Smyrne, vit des échantillons qu'il reconnut pour être de l'émeri et qui provenaient d'une localité située à 40 kilomètres au nord de Smyrne. L'importance de cette découverte, aussi bien pour le gouvernement turc que pour les arts, l'engagea à explorer le pays, dès 1847. C'est ainsi qu'il découvrit dans cette région de l'Asie-Mineure cinq localités, présentant de l'émeri et disposées sur une zone d'environ 200 kilomètres. Les deux localités principales sont Kulah et Gumuch-Dagh, près d'Ephèse. Immédiatement après cette exploration, dès 1847, on se mit à exploiter la nouvelle substance utile, principalement à Gumuch-Dagh. Vers la même époque, l'émeri était découvert dans une nouvelle localité de l'Archipel grec, dans l'île de Nicoria, où l'extraction commença en 1850. A part Naxos, où on l'exploitait activement, on le connaissait dans l'île de Samos, mais sans l'exploiter (2). Quant à l'émeri exposé par la Grèce, il provient non-seulement de Naxos, mais aussi de Paros, d'Héraclia et de Sikinos.

M. Lwarence Smith ne se borna pas à faire cette découverte utile. En minéralogiste habile et en géologue, il étudia, d'une manière précise, le gisement de l'émeri dans l'Asie-Mineure et dans l'Archipel grec. Il décrivit la manière d'être et les propriétés des minéraux qui lui sont associés, notamment du diaspore ou hydrate d'alumine cristallisé, ainsi que d'une espèce bien déterminée et d'un aspect caractéristique, que

(1) Ainsi que d'autres substances étrangères, telles que la silice et le titane.

(2) Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici que l'émeri de ces diverses provinces est connu dans le commerce, sous le nom d'émeri de Smyrne, parce qu'il est dirigé sur ce port, avant d'être expédié sur les lieux où on l'emploie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Smith désigna sous le nom d'*émerilite*, parce qu'elle se retrouvait identiquement la même dans les gisements d'émeri qu'il avait étudiés. Le nom de *margarite* a aussi été donné à cette même espèce, à cause de son éclat nacré. L'importance de ce travail, fut appréciée par M. Dufrenoy, au nom d'une commission, à l'Académie des sciences de l'Institut de France.

La découverte, qui a été faite, en 1864, aux États-Unis, dans l'état de Massachusetts, à Chester (Hampden-County), d'un gîte considérable d'émeri, fait encore mieux ressortir l'intérêt de cette étude, en même temps qu'il fournit un exemple de plus de la manière dont les connaissances minéralogiques et géologiques peuvent être mises à profit, dans la recherche des substances utiles. On avait signalé l'existence de gîtes importants de fer oxydulé magnétique dans cette localité, quand M. le docteur Charles T. Jackson, également connu comme minéralogiste et comme géologue, en examinant les minéraux qu'il avait recueillis sur place, reconnut deux de ceux qui avaient été signalés, comme les compagnons constants de l'émeri, et notamment l'émerilite. Dès lors, rendu attentif, il ne tarda pas à voir que, à part le véritable minerai de fer magnétique que renferme le pays, il devait y exister des masses ayant le même aspect et consistant en émeri. C'est ce que des explorations, convenablement dirigées, ne tardèrent pas à vérifier. Aussi, M. le docteur Jackson s'empressa-t-il d'adresser publiquement ses remercîments à M. L. Smith. Le gîte d'émeri est renfermé dans un groupe de roches de gneiss et de micaschiste, auxquelles sont subordonnées des masses considérables de schiste talqueux et de serpentine. La couche d'émeri traverse deux montagnes, d'une hauteur d'environ 220 mètres au-dessus du sol avoisinant, et s'étend sur environ 6,400 mètres de longueur ; son épaisseur moyenne est de $1^{m}30$ et parfois dépasse 3 mètres.

M. L. Smith, qui est allé étudier ce nouveau gisement sur place, a constaté sa ressemblance complète avec ceux qu'il

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avait si bien examinés. Les principaux minéraux qui y ont été reconnus, sont représentés à l'Exposition, en échantillons parfaitement caractérisés ; tels sont le corindon, le diaspore, en cristaux plus beaux que ceux que l'on connaissait autrefois ; de même que l'émerilite, la chlorite, le mica biotite, la tourmaline, qui se trouve aussi dans l'émeri de Naxos ; le fer titané (ilménite), en cristaux au milieu de la margarite, enfin le fer oxydulé ou magnétite, un peu titanifère, et qui est trouvé en abondance avec l'émeri, au point d'être exploité.

En résumé, l'émeri a été trouvé partout, dans la localité dont il vient d'être question aussi bien que dans l'Inde où on l'exploite, à Schwarzenberg, en Saxe, à Randa, près de Grenade et près d'Ekaterinbourg, dans l'Oural, dans des roches schisteuses, cristallines, où il paraît avoir pris naissance à la suite de certaines actions métamorphiques.

Les gîtes de bauxite de la Provence dont il a été question plus haut, malgré leur aspect si différent de l'émeri, présentent une composition analogue, de sorte que des gîtes, tels que ceux de bauxite, s'ils avaient été soumis à certaines actions calorifiques, auraient peut-être produit un mélange analogue à celui qui constitue l'émeri.

Quant à la dureté effective de l'émeri du gisement américain, M. L. Smith l'a essayée, d'après le procédé ingénieux qu'il a fait connaître, il y a dix-huit ans, et il a reconnu qu'elle se rapproche de celui qui provient de l'Asie-Mineure et de la Grèce. Les qualités pour lesquelles l'émeri est utilisé paraissent provenir de ce que ce mélange intime de plusieurs minéraux, renferme non-seulement le corindon, qui est le principal agent mécanique par sa dureté, mais aussi le fer oxydulé ou magnétite, qui en modère l'action coupante trop énergique.

Le nouveau gîte d'émeri de Massachusetts a été immédiatement mis en état d'exploitation, comme on devait le supposer, dans ce pays, et, aujourd'hui, il suffit aux besoins de toutes les manufactures des États-Unis.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'extraction de l'émeri, en Orient, était, en 1850, d'environ 1,500,000 kilogrammes. Quant au prix, il était, à la fin du dernier siècle, de 20 à 25 francs les 100 kilogrammes. Vers 1835, un négociant anglais, qui avait acheté au gouvernement grec la production de l'île de Naxos, avait tellement réduit la quantité d'émeri livrée au commerce que le prix s'en éleva de 20 francs à 70 francs les 100 kilogrammes. Ce dernier prix, qui était celui de 1847, baissa immédiatement jusqu'à 25 et 35 francs les 100 kilogrammes, après la mise en valeur des gisements de l'Asie-Mineure.

Si nous avons signalé, avec quelque détail, ce qui concerne les deux découvertes importantes de gisements d'émeri qui ont eu lieu depuis vingt ans, c'est dans l'espoir que cet exemple pourra servir à en découvrir d'autres, particulièrement à proximité de certains gîtes d'oxyde magnétique, où cette substance, précieuse pour les arts, peut parfaitement rester inaperçue.

§ 2. — Quartz employé pour sa dureté ou ses qualités réfractaires.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, en présence de l'emploi devenu si universel des allumettes chimiques, la fabrication des pierres à fusil n'est pas encore éteinte en France. Elles sont particulièrement employées par les ouvriers des mines sujettes au grisou. On les exploite à Saint-Aignan (Loir-et-Cher). Ces carrières, qui occupent 35 ouvriers, produisent 12 à 14 millions de pierres, pour la France et l'étranger.

Comme les pierres destinées à moudre ou à aiguiser appartiennent à une autre classe, on se bornera à mentionner ici, au point de vue du gisement, le silex meulier, exploité près Namur, en Belgique, depuis 1846, qui est remarquable par les moules de coquilles qu'il renferme souvent, comme s'il provenait de la silicification du calcaire dévonien sous-jacent, et qui produit des meules estimées pour la mouture du grain

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et d'autres substances; les meules exposées par les Cosaques du Don, qui proviennent du terrain crétacé; enfin des pierres à aiguiser de France, de Belgique, de Prusse, d'Angleterre et d'Italie.

Le quartz molaire, taillé en forme de meules, qu'on voit dans l'île de Milo, ressemble aux meulières de la Brie, quoiqu'il appartienne à un gisement différent; il accompagne les tufs trachytiques de cette île.

A la suite du quartz, qui sert par sa dureté, il convient de mentionner d'autres masses quartzeuses, très-recherchées pour les creusets des hauts fourneaux. Ce sont les poudingues quartzeux de Marchiennes, appartenant à l'étage quartzo-schisteux du terrain dévonien; on les expédie dans le nord de la France, dans la Prusse rhénane, la Bavière et différentes autres contrées. Ces poudingues servent quelquefois à raison de leur excessive dureté, particulièrement dans les faïenceries de la Belgique. On peut en rapprocher les sables quartzeux exploités pour les fabriques de porcelaine, près d'Excideuil, au lieu dit du Charrau (Dordogne); la production annuelle est d'environ 1,100 tonnes, au prix de 19 francs la tonne. On signalera aussi des briques réfractaires fabriquées à Lilienfeld, en Autriche, au moyen du quartz massif, d'abord calciné, puis broyé; une partie de la poussière est assez fine pour être plastique et servir de ciment.

Tripoli. — On donne vulgairement le nom de tripoli a plusieurs substances friables, dont la poussière, néanmoins, offre assez de dureté pour polir. Il est de ces tripolis qui proviennent d'argiles ou de schistes calcinés naturellement par des incendies de houillères, ou directement. Parmi les substances confondues sous ce nom, il faut distinguer le tripoli, bien connu, de Bilin, en Bohême, constituant des couches régulières dans le terrain tertiaire et entièrement formé de carapaces siliceuses et de dimensions microscopiques, provenant d'infusoires.

Un nouveau gisement de tripoli du même genre vient d'être découvert en France, dans la forêt communale de Marsanne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

(Drôme). Rencontré accidentellement en 1850, par M. Martel, il a été mis en exploitation, et son extraction s'est élevée de 20 à 60 tonnes. Ce nouveau gisement de tripoli est subordonné aussi au terrain tertiaire et à l'étage de la molasse d'eau douce.

§ 3. Kaolins et argiles réfractaires.

Parmi les exploitations de kaolin, récemment ouvertes en France, nous citerons celle des Colettes, près Lalizolle (Allier), que possède M. le baron de Veauce. Ce kaolin, très-employé aujourd'hui, soit pour la fabrication de la porcelaine, soit pour celle des divers produits chimiques, est livré au prix de 19 francs la tonne. L'extraction du kaolin est pratiquée aux Colettes, sur une large échelle, au moyen de nombreux puits qui fournissent 5 à 6,000 tonnes par an. Les procédés de lavage usités sont ceux du Cornwall. Les résidus du lavage laissent des grains d'oxydes d'étain, dont la quantité est trop faible pour qu'il ait une importance industrielle, mais dont la présence parait annoncer que les actions chimiques, qui ont provoqué la transformation du feldspath en kaolin, se lient à celles qui ont apporté l'étain. C'est la corrélation qui a été signalée, il y a 25 ans, en Cornwall.

Un gisement récemment découvert, à Plémet (Côtes-du-Nord), commence à être exploité; on voit en outre d'autres kaolins, provenant de Concarnau (Finistère) et de Kerezelec.

Nous ne ferons que mentionner, malgré leur importance, les gisements de kaolin anciennement exploités aux environs de Limoges, et ceux des environs de Bayonne (Basses-Pyrénées).

Les importants gisements du Cornwall, aux environs de Saint-Austell, que l'on exploite également au milieu du granite décomposé, sont à peine représentés à l'Exposition. Ils ont produit, en 1866, 105,000 tonnes de kaolin qui, ajoutée à 57,000 tonnes produites par le Devonshire forment un total de 162,000 tonnes, d'une valeur de 2,640,000 francs;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

19,000 tonnes de cette provenance ont été importées en France.

Le kaolin, bien connu, que l'on extrait dans la province de Saxe, aux environs de Lettin, et qui se trouve associé au porphyre, doit être mentionné. Celui que l'on exploite dans le Nassau, dans un terrain tertiaire, est de moindre qualité.

On remarque encore le kaolin de la Tolfa, près de Rome, qui est associé en masses puissantes à des filons de trachyte, formant une trentaine de mamelons; l'argile blanche, que l'on exploite aux environs de Vicence, pour la fabrication de la porcelaine et de la faïence.

L'Espagne présente également les argiles réfractaires ou kaolins de Zamora, qui sont associés au granite et qui sont particulièrement estimés pour la fabrication des creusets. Dans le voisinage, on exploite l'oxyde d'étain; c'est une association qui paraît, autant qu'on peut en juger à distance, analogue à celle qui vient d'être signalée. Les kaolins, exploités, pour la fabrication de la faïence et de la porcelaine, à Séville, et qui sont exposés, étaient déjà utilisés par les Romains, qui les employaient après les avoir lavés. Ce sont même ces vestiges d'exploitation qui ont servi de guide pour la reprise des travaux, quand ils ont été signalés, en 1840, par M. A. Maestre à M. Pickman, lequel en tire grand parti aujourd'hui.

On mentionnera les gisements de kaolin, exploités près de Baltimore, dans l'État de Maryland, ainsi que dans le Massachusetts et dans l'État de Géorgie. Beaucoup de gîtes de kaolins connus sont encore inexploités; tel est celui qui abonde en Russie dans le district d'Alexandrowsk, gouvernement d'Ekatérmenbourg.

Parmi les argiles employées pour leurs qualités réfractaires, et qui figurent à l'Exposition, on peut citer celles de Bollène (Vaucluse), de Canny-sur-Thévain (Somme), de Montaret (Allier), et de la Dordogne. Aux amas métallifères de calamine et de minerai de fer sont associés, en Belgique, dans les mêmes conditions de gisement, c'est-à-dire dans les anfractuosités

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du terrain carbonifère, des argiles plastiques et des sables réfractaires. Ils servent non-seulement dans de nombreux établissements, en raison de cette dernière qualité, mais ils sont encore employés pour la faïencerie et la fabrication des pipes.

L'argile réfractaire de Duttweiler, près de Sarrebrück, en Prusse, provient du terrain houiller, c'est-à-dire qu'elle appartient au même étage que celle qui est si réputée en Angleterre, à Stourbridge. On ne l'emploie qu'après l'avoir préalablement lavée, pour la débarrasser des pyrites. Les argiles du Nassau, très-employées pour la fabrication des faïences, sont exploitées sur le plateau de Montabaur et de Selters, et se trouvent dans un terrain tertiaire, à proximité de basaltes et de trachytes. Une argile de belle qualité, également exposée, accompagne le minerai de fer, en Pologne, près Grabetsk, dans les couches que l'on rapporte au lias.

On connaît la réputation des argiles réfractaires que l'on exploite en Angleterre, surtout dans le Staffordshire, le Yorkshire et le Derbyshire. En 1866, on en a extrait 750,000 tonnes, d'une valeur de 4,675,000 francs. Outre cette grande exploitation, qui tire une partie de son importance des emplois métallurgiques, on exploite des argiles à poteries, principalement dans le Dorsetshire et le Devonshire (Teignmouth-clay); la production de 1866 a été de 245,700 tonnes, ayant une valeur de 1,760,000 francs.

§ 4. — Ardoises.

Quoique les ardoises soient rangées dans une autre classe, nous mentionnerons, à côté de celles, anciennement connues, d'Angers, des Ardennes, de la Savoie (Cevins), des Pyrénées (la Bassère et Lourdes), ainsi que de celles qui sont exploitées sur une si vaste échelle dans le pays de Galles, la mise en exploitation de cette substance, à Mariathal, en Hongrie, sur des schistes appartenant au lias; il en résulte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des produits de très-bonne qualité et entre autres, d'excellentes ardoises à écrire. Cette industrie est due à l'initiative de M. Bontoux, ingénieur. Il convient aussi de citer les ardoises et dalles, remarquables par leur bonne qualité et leur dimension, de Vallongo, en Portugal, qui appartiennent au terrain silurien; les grandes ardoises et dalles extraites en Italie, des environs de Lavagna, près de Chiavari, qui sont très-estimées, quoiqu'elles appartiennent à un terrain comparativement plus récent; celles des Cosaques du Don, très-employées pour divers usages.

§ 5. Stéatite.

Le silicate hydraté et onctueux, à base de magnésie, connu sous le nom de stéatite, est recueilli dans diverses localités. On en voit des échantillons, provenant de la province d'Almeria (Espagne), où il sert à adoucir les frottements et à satiner le papier. Un autre, provenant du Canada, commence à acquérir une importance industrielle et à être exploité. Dans ces deux gisements, la stéatite appartient au terrain silurien.

§ 6. Feldspath.

Quoique le feldspath soit un des minéraux les plus répandus, il est assez rarement isolé des deux autres éléments du granite, et ce n'est que dans un petit nombre de gisements qu'on le trouve en masse assez pures pour les fabriques de porcelaine, comme aux environs de Bayonne. Le feldspath, mélangé de quartz, que l'on exploite en Angleterre, dans le Cornwall, sous le nom de *China-stone*, a fourni, en 1866, 35,000 tonnes, d'une valeur de 700,000 francs. Le feldspath orthoclase de Naes, près de Twedestrand, en Norwége, commence à être exploité; on l'exporte en Danemarck et en Angleterre.

Du feldspath, partiellement décomposé, et paraissant se trouver alors dans des conditions favorables pour qu'il abandonne sa potasse, est l'objet de quelques études et d'un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

commencement d'extraction, comme à Rosporden et Roscoff, en Bretagne, et à Cambo (Basses-Pyrénées).

§ 7. — Mica.

On sait que les grandes lames de mica que l'on rencontre en Sibérie sont utilisées depuis longtemps, notamment pour servir de vitres.

Aux États-Unis, et particulièrement dans le Massachusetts, on en rencontre également en lames de très-grande dimension, que l'on emploie à des usages variés ; ce mica est l'objet d'une exploitation assez importante, ainsi que le témoignent les séries de lames destinées au commerce, exposées par M. S.-H. Randall et par M. Joseph-D. Gould. On voit en outre le quartz en masses, le feldspath albite et l'émeraude, variété beryl, qui accompagnent ce mica dans des roches granitiques et éminemment cristallines.

L'exposition du Canada présente également du mica en grandes lames; l'une, provenant de North Burgess, mesure 35 sur 60 centimètres.

§ 8. — Graphite.

La Bohême est, avec la Bavière, une des régions du continent où le graphite est le plus abondant. Il s'y trouve en couches subordonnées aux schistes, gneiss et micaschistes, et le plus souvent, avoisiné par des couches de calcaire cristallin. L'un des gîtes principaux, celui des environs de Mugrau, donne lieu à plusieurs exploitations, dont la plus importante est établie à Schwarzbach, par M. le prince de Schwarzenberg. C'est dans des conditions géologiques semblables que le graphite se rencontre en Moravie et dans la Basse-Autriche. Les établissements de M. le baron de Kaiserstein, situés près de Raabs, appartiennent à cette dernière contrée. En 1865, on a exploité, en Autriche, 7,082 tonnes de graphite.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La Prusse ne fournit que peu de graphite; on en a extrait, en 1865, 300 tonnes, provenant principalement de la Silésie.

Du graphite, exposé par l'Espagne, appartient à un gisement qui mérite d'être cité à cause de son âge récent; il est à Huelma, au Nord de la Sierra-Nevada et paraît appartenir au trias.

La grande exploitation ouverte, il y a quelques années, dans la Sibérie orientale, près de Irkoutsk, au Mont-Batougol, par M. Alibert, continue à se développer et à donner des produits remarquables, tant par leur pureté et leur douceur que par leur dimension, ainsi qu'on peut en juger par la belle exposition de ce graphite. On a déjà extrait de cette mine, depuis sa découverte, 49,000 kilogrammes de graphite de première qualité. Un autre gîte de graphite est également connu dans la Sibérie orientale, aux environs de Krasnoïarsk (Nigenaya Toungouska); il a été découvert par M. Sidoroff, dans des schistes fossilifères, probablement de l'époque silurienne. Il n'est pas pur comme le précédent, mais il se présente en masses volumineuses, mélangées d'argile, qui ont été utilisées pour la fabrication de creusets, comme on le voit d'après les produits exposés. On en a extrait plus de 1,600 tonnes dans un an. On voit aussi le graphite d'un autre gisement, que le même exposant a reconnu récemment en Finlande, à Kuopio et à Saint-Michel; on en a transporté 60 tonnes à Lubeck.

Le graphite connu au Canada dans le terrain de gneiss, et associé, comme les gîtes dont il vient d'être question, à des couches calcaires, commence à être exploité dans les cantons de Buckingham et de Lochaber. Il s'y trouve sur de nombreux points, en quantités considérables et à l'état très-cristallin, mais mélangé à des matières pierreuses, dont on ne peut le séparer que par un traitement mécanique. Le graphite est également exploité, depuis plusieurs années déjà, dans l'État de New-York, à Ticonderoga, où il est à l'état cristallin, comme celui de Ceylan, ainsi que dans le New-Jersey, où il sert à fabriquer des creusets et à enduire les pièces de fer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le graphite bien connu de Ceylan continue à être exploité; il est importé en Angleterre et dans quelques autres parties de l'Europe.

§ 9. — Couleurs minérales naturelles.

La plupart des couleurs minérales sont fabriquées artificiellement par des procédés chimiques : il n'en est qu'un très-petit nombre qui se trouvent, dans la nature, à un état tel qu'on puisse les employer immédiatement ou après un simple traitement mécanique de purification. Telles sont particulièrement les argiles colorées en jaune et en rouge par le sesquioxyde de fer hydraté ou anhydre, et bien connues sous les noms d'ocre jaune et d'ocre rouge, et de diverses provenances. En Angleterre, on utilise les ocres qui se sont formées aux affleurements des filons, par oxydation des sulfures. C'est ainsi qu'on a produit, en 1866, 5,028 tonnes, d'une valeur de 75,500 francs, qui proviennent du Cornwall, du Devonshire, de l'île de Man et d'Anglesea. On peut également mentionner la collection des ocres produites par les mines du Rammelsberg, au Hartz; la terre verte, exploitée notamment à Vérone, et qui doit sa couleur à la présence du silicate de protoxyde de fer; la baryte sulfatée; la craie et parfois l'albâtre. Le lignite des environs de Cassel, qui appartient au terrain tertiaire, présente des variétés exploitées, à raison de leur couleur brune, sous le nom de terre de Cassel. Ces diverses couleurs figurent à l'Exposition.

Les schistes charbonneux et feuilletés, de teinte noirâtre et riches en empreintes de poissons, forment, près de Menat, dans le Puy-de-Dôme, un petit bassin au milieu du gneiss. L'exploitation de ces schistes, pendant longtemps suspendue, a été reprise récemment. Par la calcination en vase clos, on en retire du noir minéral, employé comme matière colorante, principalement dans la fabrication du cirage et des encres d'imprimerie. Une combustion complète produit du tripoli

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rouge, qui a aussi été formé, dans cette localité, par une combustion spontanée. Les huiles, que les schistes de Menat fournissent à la distillation, n'ont pas encore été utilisées.

§ 10. — Sols végétaux.

Comme application de la géologie à l'étude si importante du sol végétal, il convient de signaler la collection des sols de la Prusse rhénane, rapprochée des diverses roches que recouvrent ces terres végétales.

Quand on fait ces rapprochements, il importe beaucoup de ne pas perdre de vue que la terre végétale n'a pas toujours été formée, comme on l'a cru pendant longtemps, aux dépens de la roche sous-jacente ou sous-sol, par voie de désagrégation ou de décomposition; mais que sur des étendues parfois considérables, la couche mince qui recouvre les roches paraît résulter d'un apport, et constitue une sorte de formation géologique.

Deux colonies anglaises, celle de l'Inde et celle de Natal, ont également envoyé une collection de leurs sols.

A propos de l'étude de la terre végétale, il convient de mentionner un fait intéressant que présente l'exposition de la Prusse. Des plaques polies de marbre blanc, qui formaient le fond d'un vase dans lequel végétaient des plantes, ont été attaquées par les racines, qui y ont dessiné très-nettement, en creux, leur disposition. Cette expérience a été faite sur des plantes de nature variée, par M. le professeur D. Sax.

Glauconie employée comme amendement. — On sait que le minéral vert silicaté, connu improprement sous le nom de chlorite, et mieux sous celui de glauconie, contient souvent, parmi ses bases, la potasse, outre le protoxyde de fer, cause de sa coloration. Les sables et marnes qui renferment cette glauconie sont très-employés dans certaines parties des États-Unis, comme amendement agricole, ainsi que l'atteste la carte géologique qui est exposée. C'est particulièrement en vue de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cette exploitation que les couches à glauconie y ont été délimités avec soin. Comme en Europe, on les rencontre à deux étages, dans le terrain crétacé et dans l'étage tertiaire inférieur ou éocène.

Il importe de remarquer que ces mêmes roches glauconieuses sont également très-développées dans une partie de l'Europe occidentale et, en particulier, en France; on les trouve dans les étages inférieurs du terrain crétacé, à quelques-uns desquels elles ont donné leur épithète, et où elles contiennent de la chaux phosphatée. Les couches inférieures du bassin tertiaire de Paris en renferment aussi, mais en quantité incomparablement moindre. Il résulte de nombreuses analyses que la proportion de potasse existant dans la glauconie est très-variable, et souvent de 5 à 12 pour 100. On peut donc s'étonner que cette teneur élevée en alcali ne soit pas utilisée dans nos contrées.

§ 11. — Eaux souterraines.

L'eau doit être placée au premier rang parmi les substances minérales utiles. La circulation dans les roches et la disposition des nappes qu'elle y forme sont, d'ailleurs, en connexion intime avec la nature des roches et leur mode d'agencement, de sorte que l'étude des eaux est une dépendance immédiate de la géologie.

On sait les services qu'ont rendus, en Algérie, dans la partie voisine du Sahara, les nombreux forages qui ont été exécutés pour faire jaillir les eaux souterraines à la surface de ces contrées. Ces travaux, commencés dans la province de Constantine par MM. les ingénieurs Fournel et Dubocq, et continués avec une grande activité par M. le général Desvaux, sont poursuivis sur plusieurs régions. La collection de l'Algérie montre une série d'échantillons provenant des sondages faits dans cette province, et classés par M. Jus, avec des coupes exprimant, pour chacun d'eux, les niveaux relatifs du sol et des nappes souterraines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le Hodna est une très-vaste plaine, dont le centre est occupé par un *chott* ou lac salé, qui parfois se dessèche complétement en été. Au temps de l'occupation romaine, l'agriculture était très-florissante sur les bords des rivières qui vont se perdre dans le Chott. Aujourd'hui, il n'y a que de rares cultures arabes. Des puits artésiens ont été creusés dans la plaine du Hodna, sous la direction de M. L. Ville, ingénieur en chef des mines, pour rendre la vie à cette région presque déserte. Ainsi que l'exprime clairement la carte exposée, au mois de mai 1864, les sondages avaient été exécutés sur une profondeur totale de 2,072 mètres, soit 130 mètres par sondage. La plupart d'entre eux ont donné des eaux jaillissantes. Le débit primitif s'est élevé, dans le principal, jusqu'à 28 litres par seconde.

Il convient de signaler les heureux résultats qu'ont offerts des sondages exécutés récemment en Hongrie, près de Pesth, à l'île Sainte-Marguerite, sous la direction de M. l'ingénieur Zrigmondy, sur les indices fournis par les sources minérales d'Ofen. Un sondage, fait à la profondeur de 130 mètres, a obtenu de l'eau thermale, jaillissant en abondance et à la température de 35°. Un second forage a donné des résultats analogues, près de Funfkirchen.

§ 12. — Météorites.

En donnant à l'Exposition de 1867 la qualification d'universelle, on ne supposait pas jusqu'à quel point elle satisferait à ce titre. En effet, après toutes ces matières premières et ces minéraux, qui appartiennent à notre planète, viennent, à leur tour, se ranger des fragments venus des espaces célestes, qui sont comme les spécimens des autres corps planétaires.

L'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg a bien voulu envoyer une série de modèles, en carton-pierre, des météorites tombées en Russie, parmi lesquelles se trouve la célèbre masse de Pallas, et même offrir ces imitations, très-bien exécutées, au Muséum d'histoire naturelle de Paris. De son

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

côté, l'Académie des Sciences de Madrid a envoyé une météorite, de nature pierreuse, tombée le 24 décembre 1858, à deux heures et demie du matin, à Murcie; elle est remarquable par sa dimension et par sa forme, qui est grossièrement celle d'un parallélipipède carré, et qui est évidemment d'origine fragmentaire. Une météorite métallique ou fer météorique forme le couronnement de la belle collection du Chili; elle est également très-remarquable par les cavités qu'elle présente à sa surface. Elle orne actuellement la collection du Muséum d'histoire naturelle de Paris, qui le doit à la libéralité du gouvernement du Chili.

CHAPITRE IX.

COLLECTIONS ET ÉCHANTILLONS DE ROCHES, MINÉRAUX ET MINERAIS.

Les collections géologiques locales rendent de véritables services, même au point de vue des applications, en complétant les notions que fournissent les cartes géologiques sur le gisement des substances utiles. Elles sont, avant tout, instructives dans les pays qu'elles concernent, et, même à distance, elles présentent encore un véritable intérêt; aussi un certain nombre de ces collections figuraient à l'Exposition. Toutefois, ce qui est particulièrement utile au point de vue des applications, ce sont les collections présentant la suite des matériaux d'une contrée, méthodiquement classées et accompagnées de documents à l'appui. De nombreuses collections de ce genre ont été envoyées (1); elles acquièrent un intérêt bien plus grand, quand elles sont accompagnées de cartes géologiques, comme c'était le cas pour un bon nombre.

Sous le nom du ministère de l'Agriculture, du Commerce et

(1) Les collections minéralogiques destinées à l'enseignement, dont plusieurs très-dignes d'intérêt, qui ont été exposées, ne rentrent pas dans la classe qui fait partie de ce rapport, et il n'en sera par conséquent pas question.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des Travaux publics de France, figure une collection réunie par les soins de MM. les ingénieurs des mines, et destinée à représenter principalement les combustibles, les minerais de fer et les minerais métalliques divers. La notice circonstanciée qui accompagne cette collection, coordonnée par M. l'ingénieur Descos, dispense d'entrer dans plus de détails.

On peut juger des principales ressources minérales de l'Algérie, par les collections recueillies par MM. les ingénieurs des mines de cette colonie; nous citerons particulièrement celle de M. Ludovic Ville, ingénieur en chef des mines, auteur de nombreuses et intéressantes études géologiques sur les provinces d'Alger et d'Oran.

Le ministère des Travaux publics de Belgique expose aussi une suite de roches constitutives et de produits minéraux du sol de la Belgique, recueillis et classés par M. J. Van-Scherpenzeel-Thim, ingénieur principal des mines, à Liége. Cette collection très-complète, disposée suivant les divisions géologiques établies par l'éminent géologue belge Dumont, fournit une foule de documents intéressants, tant au point de vue de la théorie qu'à celui de la pratique. Elle est complétée par un catalogue riche en renseignements, que l'on consulte avec beaucoup de fruit.

La valeur de telles collections ne ressort nulle part mieux qu'en présence de celle de la Prusse, qui montre tous les produits des mines et carrières du royaume. Une série d'échantillons de grand format, bien choisis et représentant d'une manière complète les exploitations, a été réunie par M. le docteur Wedding, conseiller des mines, sur l'ordre de M. le ministre de l'Agriculture et des Travaux publics. Les échantillons ont été fournis par les divers exploitants. Cette collection, très-judicieusement composée et coordonnée, offre tous les faits les plus importants. Le catalogue concis et substantiel qui l'accompagne, contribue à en rendre l'étude encore plus instructive. Il est juste de rappeler que ce catalogue, si bien fait,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est établi sur le même plan que celui qui avait été exécuté pour l'Exposition de 1862, sous la direction de M. de Dechen.

Les richesses minérales de l'Espagne, connues et exploitées depuis une antiquitée reculée, forment l'objet d'une autre collection réunie par MM. les ingénieurs des mines du royaume, et dans laquelle on remarque de volumineux échantillons de cinabre massif et d'immenses blocs de houille, ainsi qu'une série des marbres de ce pays, si riche en matières minérales de toutes sortes. Dans la suite des colonies espagnoles, on voit les collections relatives à l'île de Cuba, et notamment, la nombreuse série de roches réunie par les Frères de la doctrine chrétienne (Escolapios).

De même, les productions minérales du Portugal ont été réunies dans une collection dont plusieurs parties de ce rapport ont pu faire apprécier l'intérêt. Les collections des colonies portugaises présentent des malachites d'Angola (Bembe), en grosses masses, du cuivre natif du Congo et de Timor, du fer magnétique d'Angola, de Gambos et de Cassingo, des minerais de soufre de Dombe Grande, et des produits de cratères des volcans de l'île de Fogo.

Une suite spéciale des combustibles de l'Italie montre, outre le lignite miocène, celui de l'époque quaternaire du Val de Chiava, en couches de 3 à 4 mètres, qu'on commence à exploiter, ainsi que la tourbe contemporaine. L'Institut technique de Florence, auquel on doit cet envoi, y a joint une collection de tous les macignos de la Toscane, employés dans la construction et le pavage, ainsi que la suite des roches de l'île d'Elbe; de beaux échantillons de serpentines et d'albâtre, et une collection d'ossements fossiles. Il est bien d'autres suites intéressantes, telles que celle des roches de la Tolfa, exposée par M. le professeur Ponzi, de Rome, et celles de la Grèce.

Une collection de cinquante échantillons de roches de Suède, taillées sous forme cubique, a été rassemblée par M. Axel Erdmann, à qui l'on doit la belle carte géologique de ce pays.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On remarque les diverses variétés de porphyre d'Elfdal, en Dalécarlie, qui sont bien connues, tant par leur beauté que par la perfection du poli qu'elles acquièrent. Des roches polies de Norwége sont exposées par le Musée minéralogique de l'université royale de Christiania. M. Tellef Dahl a exposé les espèces minérales les plus intéressantes de la Norwége, à l'état de cristaux d'élite. Quant à la collection spéciale des mines d'argent de Kongsberg, elle a déjà été mentionnée. A côté de la carte géologique, on remarque aussi plusieurs roches particulières à la Norwége, telles que la norite, dont le poli permet d'apprécier parfaitement la nature.

Les principales zéolithes des îles Feroë, ainsi que les minéraux, compagnons du remarquable gisement qui, au Groënland, fournit la cryolithe, sont exposés par le Musée de Copenhague.

Outre les collections minérales de l'Empire russe, dont il a été question dans le corps de ce rapport, on peut mentionner celles des roches exploitées dans les monts Altaï et dans les monts Ourals, provenant du cabinet de S. M. l'Empereur et offerte à l'École impériale des Mines de Paris.

La collection des roches de l'Égypte est placée à côté de la carte géologique du même pays, exécutée par Figari bey.

Parmi les collections de minerais et de combustibles qui ont été envoyés par plusieurs États des États-Unis d'Amérique, il faut citer, tout particulièrement, celles de Californie, recueillies, l'une par M. William P. Blacke, géologue de l'État, l'autre par M. le docteur Pigné, qui en a fait don à l'École des mines de Paris.

La commission géologique du Canada, à côté des belles cartes ou coupes géologiques publiées par ses soins, et des publications qui leur servent de complément, a envoyé une série de roches, fossiles et minéraux économiques, qui sont accompagnés d'une esquisse géologique succincte.

La belle et importante collection de la richesse minérale du Chili, si judicieusement composée pour faire ressortir l'intérêt

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exceptionnel que présente cette région de l'Amérique et groupée d'une manière si instructive, est due à M. Domeyko, professeur à l'université de Santiago et inspecteur général des mines du Chili. Aussi distingué comme minéralogiste, chimiste et géologue que par son désintéressement et par son dévouement à la science et à sa patrie adoptive, M. Domeyko fait honneur à l'École des mines de Paris, dont il a suivi les cours, il y a trente ans. Le rôle d'un tel homme et les services qu'il rend au développement de la richesse minérale du Chili, tant par lui-même que par les nombreux élèves qu'il a formés, sont inappréciables.

La collection minéralogique du Japon, dans laquelle on remarque de nombreux échantillons de cuivre pyriteux et diverses variétés de quartz et d'agate, serait plus intéressante, si les étiquettes présentaient une traduction dans une langue européenne. La houille, qui abonde, surtout dans l'île de Jéso, n'est pas représentée.

Sans sortir du palais de l'Exposition, on peut reconnaître avec quel soin les colonies anglaises sont étudiées dans leur constitution minérale et dans les ressources qu'elles peuvent fournir.

La Nouvelle-Écosse a envoyé des collections bien faites, accompagnées de catalogues et de mémoires à l'appui. Peu de contrées du globe, excepté certaines régions de l'Inde, sont plus riches en silicates de la famille des zéolithes, que la baie de Fundy, dans la Nouvelle-Écosse ; c'est ce qui a motivé une exposition spéciale de ces minéraux par N. O. C. Marsh, de New-Haven.

Les colonies australiennes sont si bien représentées, qu'on peut acquérir beaucoup de notions précises sur ces régions lointaines.

Le Département des Mines de Victoria envoie une collection de plus de trois cents échantillons, que M. Ulrich a décrits dans un catalogue. On y voit la série des roches stratifiées, depuis le terrain silurien jusqu'au terrain carbo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nifère et, en outre, le terrain tertiaire; puis celle des roches plutoniques : granite, porphyre, diorite, mélaphyre et roches volcaniques de nature variée : basalte, dolérite, anamésite. Parmi les minéraux, on remarque, à part les pierres gemmes dont il a été question plus haut, la tourmaline cristallisée, ressemblant à celle du Brésil; le corindon à l'état harmophane et en galets roulés; le quartz hyalin cristallisé et incolore ou cristal de roche; il se trouve aussi sous les variétés enfumées, améthyste et jaune ou *cairngorn;* la chrysoprase; l'opale; l'émeraude, variété aigues-marines; le spinelle. Plusieurs de ces minéraux rappellent ceux qui sont bien connus dans d'autres contrées, telles que l'Oural.

A côté des blocs de naphtoschiste et de minerais métalliques de la Nouvelle-Galles du Sud, M. William Keene expose sa collection personnelle, qui est très-instructive et dont l'intérêt est rehaussé par les notes dont il l'a accompagnée.

Certaines collections spéciales, montrant les fossiles caractéristiques des terrains, peuvent être également signalées ici; telles sont : la suite des fossiles du trias, de l'infralias et du lias, dans les Alpes des environs de Saint-Cassian et d'Ésino, que présente l'Institut technique de Bergame; les fossiles du système silurien, du centre de la Bohême, envoyés par M. Schary, qui reportent au travail classique de M. Barrande sur ce pays; ceux des terrains du Bosphore, recueillis par Abdullah Bey, dont le zèle s'étend sur les différentes parties de l'histoire naturelle de la Turquie; ceux de l'État de l'Illinois, accompagnés d'un texte descriptif considérable; les végétaux houillers de la Nouvelle-Écosse; les vertébrés fossiles de la Roumanie; ceux du Brésil, rapportés par M. Séguin et appartenant à des animaux très-remarquables, tels que le glyptodon, etc.

Avant de terminer, on ne peut s'empêcher d'exprimer le regret que des pays aussi intéressants dans leur constitution que le Pérou et la Perse, n'aient pu envoyer des collections servant à faire connaître certains traits de leur sol, en même temps que leur richesse minérale.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION II

COMBUSTIBLES ARTIFICIELS.

PAR M. EDMOND FUCHS.

CHAPITRE Ier.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

La rapidité avec laquelle s'est développée, depuis une cinquantaine d'années à peu près, la consommation du combustible, a produit insensiblement sur la valeur de ce dernier une hausse qu'ont atténuée, sans la faire disparaître, les découvertes de gisements nouveaux, le perfectionnement de l'outillage et les progrès réalisés dans l'art du mineur. De là une préoccupation légitime et croissante d'utiliser les menus et les poussiers que produisent l'exploitation des mines et l'industrie en général, et qui atteignent des proportions considérables en Belgique et surtout en France. Pour bien comprendre l'importance de cette utilisation, il faut se rendre compte de la valeur commerciale de l'unité calorifique renfermée dans les menus, comparée à celle des combustibles de toute nature consommés par l'industrie et les usages domestiques.

Le tableau suivant établi, presque en totalité, par M. Pernolet, directeur de la Compagnie du *Charbon de Paris*, en prenant pour bases la valeur industrielle des principaux combustibles dans les usines à gaz de Paris, déduction faite des octrois, montre entre quelles vastes limites le prix de cette unité calorifique peut varier, dans une même localité, avec la nature, la pureté et surtout l'état de division des combustibles employés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMBUSTIBLES.	A QUANTITÉS de cendres contenues dans 1,000 kilogrammes.	B PRIX courant absolu de 1,000 kilog. secs.	C PRIX COURANT de 1,000 kilog. utiles, c'est-à-dire supposés exempts de cendres.	D POUVOIR calorifique admis, eu égard à la composition.	E PRIX de l'unité calorifique (d'une calorie) $E = \frac{B}{D}$	F PRIX de l'unité calorifique, rapportée à celle du poussier de coke, prise égale à 100.
	Kilog.	fr. c.	fr. c.	Calories.	fr. c.	
POUSSIER DE COKE des usines à gaz (supposé vendu dans ces dernières au prix moyen de 5 fr. 25 les 15 hectolitres, pesant 750 kilogrammes)	300	7 »	10 »	5,550	0 127	100
FINES DE HOUILLE de Charleroi, mi-grasse ou quart-grasse	150	18 50	21 75	6,900	0 268	210
FINES DE HOUILLE grasse	175	21 50	26 05	6,750	0 318	250
HOUILLE GRASSE tout venant	125	23 »	26 30	7,125	0 322	250
GAILLETTE OU GAILLETTERIE grasse ou mi-grasse	75	32 »	34 60	7,500	0 426	335
COKE DE GAZ (supposé vendu 1 fr. et 1 fr. 20 l'hectolitre de gros dans les usines)	165	26 30 31 60	31 51 37 85	6,700 6,700	0 392 0 472	310 370
COKE DE FOURS	65	38 » 35 »	40 85 35 »	7,500 8,000?	0 507 0 437	400 345
GOUDRON OU BRAI liquide	»	50 »	50 »	8,000?	0 625	492
GAZ D'ÉCLAIRAGE compté à 0,10 le mètre cube	»	190 »	» »	11,500	1 670	1,320
— 0,20 —	»	380 »	» »	11,500	3 310	2,630
— 0,30 —	»	570 »	» »	11,500	5 000	3,950
BOIS ORDINAIRE à 25 pour 100 d'eau	20	32 »	32 65	3,000	1 007	840
AGGLOMÉRÉS (briquettes ou rondins) à 26 francs la tonne	65 à 100	26 à 29	28 à 31	7,500	0,347 à 0,387	272 à 304
CHARBON DE BOIS (tout venant, à 3 fr. 75 le sac de 57 kil, 50 dont 10 pour 100 d'eau hygrométrique)	85	107 50	118 15	6,700	1,605	1,265

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit que la dépense nécessaire pour produire une même quantité de chaleur varie dans le rapport des nombres 1, 2, 6, 4, 8, 12 et même 39, suivant que l'on emploie, pour produire cette chaleur, le poussier de coke, le menu de houille, les agglommérés, le coke des fours à gaz, le bois, le charbon de bois, ou, enfin, le gaz lui-même. Cette inégalité tient surtout à ce fait que la difficulté de la combustion croît avec la ténuité du combustible, ce qui conduit naturellement au désir de faire disparaître cette dernière, par l'agglomération des menus et des poussiers de toute nature à l'aide d'un ciment.

Dans les premiers temps, alors que cette opération était restreinte aux usages domestiques ou à quelques opérations industrielles n'exigeant que peu de propriétés de la part des combustibles qu'elles consomment (telles que la cuisson de la chaux et du plâtre), on n'a guère été scrupuleux sur le choix de la matière employée comme ciment, et les premières briquettes, fabriquées à la fin du siècle dernier déjà, aux environs de Liége, et désignées sous le nom de *hochets*, étaient simplement agglutinées avec un peu de terre glaise.

Ce ciment primitif, dont le double inconvénient est d'augmenter la teneur en cendres et de ne donner que des produits d'une très-faible ténacité, a été, pendant plus de quarante ans, le seul dont on ait essayé l'emploi, et, de nos jours encore, dans le nord de la France et dans les Alpes, où le combustible est du charbon très-maigre ou de l'anthracite friable, c'est lui qui sert à obtenir, à l'aide d'une fabrication analogue à celle des briques, des *boules* pour le chauffage domestique. Mais ce sont là des exceptions toutes locales et d'une importance si faible, qu'elles ne méritent pas d'être signalées autrement que pour mémoire.

Au point de vue industriel, la question est entrée depuis quelque temps dans une toute autre voie, et la préoccupation d'utiliser les produits accessoires s'est effacée presque partout devant celle de créer, à l'aide de ces produits, des combustibles de qualité supérieure, jouissant de propriétés exceptionnelles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La finesse des menus, en effet, loin d'être un obstacle, peut au contraire devenir une des sources de la bonne qualité du combustible aggloméré, puisqu'elle permet non-seulement de mélanger les menus de toute provenance, de manière à obtenir une composition et par suite des qualités bien déterminées, mais encore de soumettre ces menus à un lavage préalable, qui les débarrasse des éléments étrangers auxquels ils sont associés et qui permet, par contre coup, d'exploiter avantageusement des assises houillères, dont le mélange intime avec les schistes exige une véritable préparation mécanique. Une fois entré dans cette voie, il devenait indispensable que le ciment n'altérât plus la pureté obtenue par le lavage, et fût lui-même une subtance combustible pure. Aussi fit-on, à partir de l'année 1833, usage du goudron, dont l'introduction inaugura l'ère des combustibles artificiels de qualités exceptionnelles, et par suite aussi celle de la grande extension de ces combustibles.

Leur fabrication fut entreprise d'abord à Saint-Étienne, par MM. Ferrand et Marsais; mais, dès 1842, ce dernier, frappé des inconvénients que présentait le goudron, au point de vue de la solidité et de l'odeur du produit, lui a substitué le brai gras, c'est-à-dire le goudron débarrassé de 25 pour 100 de matières volatiles; mais le brai gras lui-même, ayant encore de l'odeur, fut bientôt remplacé par le brai sec, c'est-à-dire par le goudron débarrassé par une température de 300 degrés de toutes les matières volatiles à froid.

Ces trois ciments sont les seuls que la pratique ait consacrés, les seuls qui soient employés aujourd'hui encore (1); et, bien qu'il y ait une prédilection croissante pour le dernier d'entre eux, leur usage simultané est au moins provisoirement garanti par la nature des appareils dans lesquels se fait l'ag-

(1) Nous n'avons pas à nous occuper ici des substances étranges, théoriquement indiquées par quelques inventeurs, telles que les résines, les farines, l'alun, la couperose et d'autres d'un choix plus inexplicable encore.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

glomération, et par les propriétés spéciales qu'ils communiquent aux mélanges dont ils font partie.

Leur emploi présente malheureusement un inconvénient, dont la gravité ira sans cesse en augmentant, et qui tient à ce qu'ils ne sont eux-mêmes que des produits accessoires, et nécessairement limités, de la fabrication du gaz d'éclairage. Leur consommation croissante a par suite augmenté rapidement leur valeur et provoqué de légitimes inquiétudes sur la possibilité de leur insuffisance. Aussi les efforts des inventeurs se sont-ils portés, dans ces derniers temps, sur leur suppression complète, et sur la fabrication de briquettes, sans le secours d'aucun ciment; et, si cette solution n'a pas encore reçu l'extension à laquelle elle peut prétendre, c'est qu'elle exclut les charbons maigres ainsi que les anthracites, dont les menus n'acquièrent de valeur que par l'agglomération, et que, d'autre part, le prix du goudron et des brais n'est pas encore assez élevé, pour qu'il compense l'augmentation dans la main-d'œuvre et la complication dans l'outillage qu'entraîne leur suppression complète.

Nous allons maintenant passer successivement en revue les produits correspondant aux divers systèmes dont nous venons d'esquisser l'histoire, en étudiant rapidement les éléments qui les composent, leur fabrication et enfin leurs usages et les qualités spéciales à chacun d'eux (1).

(1) Les publications nombreuses auxquelles ont donné lieu la fabrication et l'emploi de combustibles artificiels ont été condensées et complétées, à l'aide d'observations personnelles, par M. Gruner, inspecteur général des mines, dans un mémoire qui a été publié en 1865 dans les *Annales des Mines*, et auquel nous avons emprunté une partie des renseignements contenus dans ce rapport.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

CHOIX DES MATÉRIAUX.

§ 1. — Charbons.

Ce qui précède montre que les briquettes sans ciment ne peuvent être obtenues qu'avec des charbons gras et qu'elles excluent tous les combustibles qui, par leur maigreur, sont incapables de subir, sous l'influence de la chaleur, le ramollissement nécessaire à leur agglomération.

L'emploi du ciment permet d'être moins exclusif; toutefois l'agglomération des substances pour lesquelles elle a le plus d'importance, les anthracites et surtout les houilles dures et sèches, présente toujours de grandes difficultés, à cause de la liaison imparfaite du ciment et des fragments du menu; et comme, d'ailleurs, ce dernier n'éprouve au feu que peu ou point de ramollissement, les briquettes se désagrègent promptement et tombent en poussière sur la grille, même quand, à froid, elles paraissent présenter toutes les apparences de solidité voulues. On y remédie partiellement par une pulvérisation plus fine du menu, mais cette opération n'affranchit pas de l'obligation d'employer, soit une proportion plus forte de ciment, soit un chauffage préalable et une augmentation dans la compression.

Le problème vient de recevoir, dans ces derniers temps, une solution toute différente, qui, bien qu'elle paraisse au premier abord, applicable seulement à quelques cas particuliers, peut avoir un grand avenir industriel. Frappé du peu de valeur des poussiers de coke dans les usines à gaz et de la circonstance que ces dernières possèdent toujours des menus de charbon gras et des goudrons, ou mieux encore des huiles lourdes d'un placement difficile, M. Pernolet a proposé la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réunion de ces divers éléments pour la confection d'un véritable mortier combustible, destiné à être utilisé à l'usine même pour le chauffage des cornues.

Les expériences ont été faites sur dix mélanges de cent tonnes au moins chacun, à l'usine du charbon de Paris et ont donné les résultats les plus satisfaisants. La préparation du mortier goudronneux consiste à étendre les menus à agglutiner, en couches minces sur le sol même de l'usine, devant les fours auxquels ils sont destinés, les arroser de goudron, de brai gras, ou d'huiles lourdes et à remuer le tout avec un râteau à dents de fer. Cette manipulation n'entraîne qu'une dépense de 2 francs par tonne et produit un combustible comparable à la bonne houille grasse, tout venant, de Mons. Il se charge à la pelle dans les foyers industriels, tel quel, sans soins particuliers, se soutient sur une grille dont les barreaux sont espacés de un centimètre au plus, sans couler, même quand il contient un tiers de ciment liquide pour deux tiers de poussier ; il ne fait ni crasses, ni mâchefers spéciaux, et reste meuble et perméable à l'air sans être remué, tout en donnant la flamme nécessaire.

Les essais faits sur une série de mélanges et résumés par le tableau suivant ont montré qu'il était difficile de trouver pour la grille un charbon tout venant, plus commode et plus chaud que le mélange de 25 à 30 pour 100 de poussier de coke, 60 pour 100 de fines de Charleroi et 15 de brai liquide.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉRO	COMPOSITION des mélanges PAR 1,000 KILOGRAMMES.	POUVOIR calorifique calculé abstraction faite des cendres.	PROPORTION de cendres calculées.	CENDRES mâchefer et résidus constatés.	QUANTITÉ de mélange consommée pour produire 1,000 kilog. de charbon de Paris.	COUT de cette quantité dans Paris.	COUT rapporté à la houille grasse, tout venant, de Mons.	OBSERVATIONS.
	kilog.	calorics.	o/o	o/o	kilog.	fr. c.		
1	HOUILLE GRASSE, de Mons, tout venant. »	7,125	12,5	12	116	4, 12	100	Chauffage excellent.
2	POUSSIER DE COKE... 350 BRAI LIQUIDE..... 115 FINES DE MONS..... 535	6,450	20	19,5	110	2, 89	70	Mélange disposé à s'aplatir sur la grille; a besoin d'être désagrégé pour bien brûler.
3	POUSSIER DE COKE.... 250 BRAI LIQUIDE..... 140 FINES DE CHARLEROI.. 610	6,700	16,5	16	118,5	3, 03	73.5	Excellent; c'est celui qui a été adopté à l'usine du charbon de Paris.
4	POUSSIER DE COKE.... 670 BRAI LIQUIDE..... 330	6,350	21	26	118,5	3, 97	77,6	Filtration de matières; du reste, bon chauffage,
5	POUSSIER DE COKE..... 800 HUILE LOURDE..... 200	L'huile seule brûle, et le poussier reste sur la grille sans autre effet utile que d'avoir divisé l'huile et favorisé sa combustion.						

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit que le mélange n° 3, celui qui a été adopté, présente, même aux prix admis par le tableau n° 1, une économie de 26,5 pour 100 sur le tout venant.

Nous n'avons pas à insister sur les avantages que peuvent recueillir les usines à gaz en entrant dans cette voie ; nous rappelerons seulement qu'il y a beaucoup d'établissements industriels qui ont à leur proximité les matériaux de combinaisons analogues aux précédentes, et que, en Suède notamment, beaucoup d'usines métallurgiques, qui possèdent des fours à gaz, ne trouvent point d'emploi pour leurs goudrons, alors que, à côté d'elles, des quantités énormes de sciures de bois sont annuellement jetées dans les fleuves. Il y aurait là de sérieuses études à faire, car, en Scandinavie comme ailleurs, le prix des combustibles suit une marche ascendante, qui paraît plutôt destinée à s'accélérer qu'à se ralentir.

Les combustibles dont nous venons de parler sont tous chargés d'un excès de ciment ; quand ils sont destinés à être consommés sur place, cet excès ne présente pas d'inconvénient, mais il n'en est plus ainsi s'ils doivent être livrés au commerce et transportés à des distances plus ou moins grandes. Dans ce cas, outre l'agglomération devenue nécessaire, ils doivent encore subir une distillation préalable qui leur donne toute la solidité, la porosité et la dureté voulues.

Le type de cette fabrication est représenté par *les Charbons de Paris*. Ce sont de petits rondins cylindriques de 0^m1 de longueur et de 0^m035 de diamètre, faits avec de la tannée, du poussier de charbon de bois et un ciment, qui, suivant la machine agglomérante, est du goudron ou du brai, dans une proportion qui varie de 45 à 50 pour 100. Ces briquettes sont calcinées dans des cornues analogues aux cornues à gaz, chauffées par la combustion des produits de la distillation des cornues voisines. On obtient ainsi, malgré la maigreur absolue des poussiers employés, des briquettes d'une consistance parfaite, présentant, grâce à la distillation, une légèreté, une porosité et par suite une régularité de combustion qui rendent leur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

emploi supérieur, même à celui du charbon de bois, pour les usages domestiques. Mais on comprend aussi que de pareils combustibles sont d'un prix absolument inabordable à l'industrie, puisqu'ils consomment pour leur propre calcination plus de la moitié de leur ciment, c'est-à-dire à peu près le quart de leur poids total. Aussi l'utilisation des poussiers de charbon de bois pour la fabrication du charbon de Paris, ou de ses analogues sera-t-elle toujours restreinte aux grandes villes, où les combustibles naturels sont livrés aux usages domestiques à des prix suffisamment élevés, pour être contraints de subir la concurrence d'un combustible artificiel, dont la valeur atteint 16 et même 18 francs les 100 kilogrammes.

L'emploi exclusif des charbons maigres et anthraciteux est, d'autre part, lui aussi, une exception et ne devra jamais être accepté que comme une nécessité. Il ne faut pas oublier pourtant que c'est précisément dans ce cas que l'agglomération rend les meilleurs services, puisqu'elle permet l'utilisation de matières qui, sans elle, eussent été absolument sans emploi. C'est ainsi, par exemple, que, dans la houillère de Champelauzon, faisant partie du groupe de la Grand'Combe, où l'on exploite un charbon maigre, les menus étaient, faute d'emploi, abandonnés ou rejetés dans la mine pour y servir de remblais, jusqu'à ce que la fabrication des agglomérés ait permis leur transformation en un produit industriel comparable, sinon supérieur, au gros charbon extrait de la même mine.

Mais, à part ces conditions heureusement exceptionnelles, et chaque fois que la préoccupation dominante sera celle de la qualité du combustible artificiel, on devra recourir, pour la fabrication de ce dernier, à des charbons gras, ou tout au moins à des charbons demi-gras, et, en leur absence, à des mélanges de charbon gras et de charbon maigre. Les conditions les plus avantageuses sont d'ailleurs un charbon gras à courte flamme, lavé avec soin et réduit par le broyage à la plus grande finesse possible.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 2. — Ciments.

Nous avons vu que les trois seuls ciments consacrés par la pratique et actuellement encore employés étaient le goudron et ses deux dérivés : le brai gras et le brai sec.

Le *goudron* ne sèrt plus qu'exceptionnellement, parce que les briquettes que l'on obtient à l'aide de son emploi exigent une calcination, ou, tout au moins, une distillation partielle qui augmente considérablement le prix de leur fabrication. On peut, il est vrai, recueillir environ le quart des substances volatiles distillées, mais l'installation des appareils nécessaires est compliquée et dispendieuse, et nous pensons que, dans un prochain avenir, ce ciment sera entièrement abandonné pour les combustibles industriels. Il est conservé toutefois, au moins provisoirement, pour la fabrication d'une fraction notable des charbons de Paris, et on l'utilise encore, mélangé au brai sec, lorsque l'on a besoin d'un ciment plus plastique que ne l'est ce dernier employé isolément.

Le *brai gras* n'est pas d'un usage beaucoup plus répandu. Sa consistance ne permet pas de le mélanger à froid avec le menu, comme cela se pratique avec le goudron, mais une température de 75 à 80 degrés suffit pour le liquéfier complétement, et quand le mélange est fait à ces conditions, l'emploi du brai gras est aussi facile que celui du goudron. Son usage tend d'ailleurs à disparaître de plus en plus, et on ne le trouve guère que dans quelques établissements isolés, comme l'usine de M. Marsais, à Givors. Quand on a besoin d'un ciment facilement liquéfiable, on lui substitue, en général, aujourd'hui, un mélange de brai sec et de goudron, ou même d'huile minérale lourde ; cette circonstance se présente quelquefois, quand on emploie les machines à agglomérer du type Évrard, et est réalisée notamment dans les usines belges de M. F. Dehaynin.

Le *brai sec*, c'est-à-dire le résidu de la distillation du goudron de houille, débarassé, par une température de 300 degrés, de 40 pour 100 de matières volatiles, est de beaucoup le ciment

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le plus en usage aujourd'hui. Il est employé dans la plupart des usines de Belgique et de France, telles que : Anzin, Aniche, la Grand'Combe, etc. Il a sur le goudron l'avantage de donner une briquette qui n'a besoin d'être soumise à aucune calcination, pour acquérir les qualités requises par le commerce, et sur le brai gras, celui de donner un produit brûlant avec moins de fumée. Il peut, de plus, être broyé à froid et mélangé à l'état de poussière avec le menu de charbon ; mais le malaxage doit, en revanche, être fait à chaud et la compression des briquettes exige une force plus grande que celle qui est nécessaire avec le goudron ou le brai gras.

CHAPITRE III.

FABRICATION DES BRIQUETTES.

§ 1er — Broyage et malaxage.

Le malaxage de la pâte formée des éléments que nous venons de décrire ne présente pas de difficultés spéciales. Quand on emploie le goudron, il se fait à froid, à l'aide d'un arbre à palettes horizontales, tournant dans une auge verticale. Quand on se sert de brai gras, il faut préalablement liquéfier ce dernier et chauffer également le charbon pour empêcher que le mélange ne se fige pendant le malaxage ; cette opération s'effectue en général à l'aide d'un jet de vapeur surchauffé, et l'on a trouvé que 7 pour 100 de vapeur à 150 degrés suffisaient pour élever le mélange à la température voulue, voisine de 100 degrés. Mais il faut pour cela que le charbon ait été préalablement séché, condition qui n'est que rarement réalisée dans les usines et qui entraîne des difficultés croissant avec la finesse des menus soumis au lavage. Le malaxage proprement dit, dont l'intimité a une grande influence sur la bonne qualité du produit, est effectué, en général, d'abord par une hélice dans un cylindre horizontal, puis, par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un arbre à palettes dans un cylindre en tôle vertical ; ces deux appareils sont entourés d'une double enveloppe, dans laquelle circule un courant de vapeur qui maintient le mélange à une température de 85 degrés environ. Dans ces conditions, 8 pour 100 de brai suffisent pour opérer le mélange, et cette proportion pourra être réduite d'autant plus que le menu sera plus fin, la température plus élevée et le malaxage plus soigné. La rareté croissante du brai gras dans le commerce lui fait depuis quelque temps substituer un mélange de brai sec et d'huile lourde. MM. Messier, Barlet frères et C^ie^ ont exposé un petit appareil servant à dissoudre le brai, préalablement chauffé, dans un huitième environ de son poids d'huile lourde. Les briquettes jointes à l'appareil, comme exemples de l'emploi de ce mélange, contiennent 0.60 d'huile sur 4.40 ou 5.40 de brai. Elles se rapportent au type Mazeline, et paraissent être sans odeur et se trouver dans de bonnes conditions d'homogénéité, de compacité et de résistance.

Le brai sec exige une opération préalable ; le broyage, qui s'effectue, sans particularité remarquable, dans des appareils analogues aux moulins à café. Le brai et le charbon pulvérisés sont versés d'une manière continue dans une cuve, où ils sont portés par un jet de vapeur à une température voisine de 100 degrés, soit par deux trémies dont les orifices de sortie sont dans le rapport du mélange (1 : 10 ou 1 : 12), quand les broyeurs sont à la partie supérieure de l'appareil de compression (système Evrard), soit, dans le cas contraire, par deux chaînes à godets de dimensions proportionnelles à celles du mélange (systèmes Mazeline et Revollier).

Le malaxage s'effectue comme précédemment, avec cette différence pourtant, qu'il faut, pour éviter que le brai ne se fige, chauffer suffisamment le mélange pour qu'il possède, en arrivant aux mouleurs, une température supérieure à 80 degrés, tandis que 30 à 35 degrés suffisent quand on opère avec le brai gras. Ici encore le succès final et l'économie de l'opération dépendent de la perfection du mélange et de l'élévation de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

température. Ces conditions sont malheureusement rarement réalisées, les directeurs d'usines et les inventeurs ayant généralement, comme le fait avec raison remarquer M. Grüner (1), relégué au second plan les appareils de chauffage et de malaxage, pour porter, avant tout, leur attention sur ceux de compression.

Les appareils employés pour l'agglomération du charbon en briquettes sont extrêmement nombreux, et varient surtout avec la nature des mélanges. Lorsque ce dernier est très-riche en matière liquide, comme cela arrive chaque fois que l'on emploie du goudron ou un excès de brai gras, le produit obtenu n'a qu'une consistance fort imparfaite, et sa compression doit être effectuée dans des appareils entièrement clos.

§ 2. — Agglomération proprement dite. — Appareils de compression.

Quand, au contraire, l'on fait usage du brai sec, ou du brai gras dans la proportion strictement nécessaire, on peut, soit conserver le système précédent, ce qui permet de soumettre le mélange à de très-fortes pressions, soit utiliser le frottement énorme qui se développe au contact du cylindre et du mélange qui y est comprimé, et opérer avec des moules ouverts. Enfin, dans les cas de plus en plus rares, où l'on ne fabrique que des briquettes d'un petit volume, dont l'agglomération n'exige qu'un effort relativement faible, on peut faire passer le mélange entre les jantes de deux roues, se correspondant à la façon des engrenages, ou entre les surfaces convexes de deux cylindres agissant à la façon des laminoirs.

Les appareils, qui remplissent l'une ou l'autre de ces trois séries de conditions sont très-nombreux; nous ne parlerons ici que du petit nombre d'entre eux, qui ont reçu la sanction de la pratique.

(1) Grüner : *Mémoire* sur l'agglomération des combustibles minéraux (*Annales des Mines*, 1865).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1° *Appareils à moules fermés.* — Les appareils à moules fermés s'appliquent, comme nous l'avons vu, dans deux cas bien distincts : d'abord, quand on opère sur une pâte molle, riche en goudron ou en brai liquéfié ; en second lieu, quand on veut exercer une très-grande compression sur le mélange pendant sa transformation en briquettes. La première de ces deux circonstances n'est guère réalisée que par le *charbon de Paris* ou ses congénères, et la machine dont elle a provoqué l'emploi est celle de M. Popelin-Ducarre (1).

Les moules, fixés sur un chariot en bois, reposent sur une table métallique qui leur sert de fond commun ; un nombre égal de pistons, également réunis entre eux, y compriment le mélange, qui est formé de deux parties de poussier pour une de goudron. Quand la briquette est achevée, le support auquel sont fixés les moules se transporte parallèlement à lui-même et place ces derniers au-dessous de creux pratiqués dans la partie antérieure de la plaque de base ; une deuxième série de pistons pénètrent alors dans les moules et en chassent les petits rondins qui, après avoir traversé les ouvertures inférieures, sont cisaillées par un deuxième mouvement horizontal du support commun.

Ce système présente de graves inconvénients : la solidarité d'un assez grand nombre de moules et celle des pistons correspondants exigent, dans l'ajustement des uns et des autres, une très-grande précision ; d'autre part, l'absence de guidage, autre que celui qui est dû à la rigidité du système, s'oppose à l'emploi de fortes pressions, et restreint l'usage de cet appareil à la confection de briquettes d'un faible poids (90 à 100 gr.), faites avec un mélange contenant un excès de ciment liquide. Cette solution est très-onéreuse et provoque en outre la production d'une fumée très-épaisse, à l'instant du chargement des fours dans lesquels s'effectue la calcination des briquettes, car les matières volatiles se dégagent à ce moment dans une

(1) Voir le recueil de M. Armengaud, t. IX, p. 363.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

proportion telle, que l'air qui pénètre dans les carneaux n'est plus suffisant pour opérer leur combustion. Bien que cette circonstance ne se présente que pendant un temps relativement très-court, huit à douze minutes seulement, elle a cependant une gravité réelle, à cause de la situation spéciale de la plupart de ces usines à l'intérieur de Paris même.

MM. Brousse, Pernolet et Cie ont essayé de remédier à cet état de choses en substituant au goudron le brai sec. Cette substitution a entraîné, dans l'ensemble des opérations de l'usine, une série de mofications dont nous reparlerons plus loin. La seule qui nous intéresse en ce moment est le remplacement de la machine Popelin-Ducarre par des mouleurs à roue du système Mazeline permettant de réaliser une compression plus énergique ; cette substitution a été imitée par presque tous les concurrents que la consommation croissante du charbon de Paris leur a suscités. La Société du *charbon des ménages* (MM. Camille Barre et Cie), celles du *charbon de Montreuil* (M. Delaporte), du *charbon de la Chapelle*, du *charbon de cuisine* (M. Ravoux), et des *charbons de Bordeaux*, *de Nantes*, *du Havre*, etc.

Le deuxième type de compresseurs à moules fermés, d'une importance industrielle bien supérieure au précédent, permet de soumettre les briquettes aux pressions énormes de 120 et même de 150 atmosphères.

Ces appareils, assez différents les uns des autres, peuvent se réduire à trois, qui portent les noms de leurs inventeurs : MM. Marsais, Mazeline, Révollier.

La machine Marsais ne fait qu'une seule briquette à la fois et la comprime à l'aide d'une presse hydraulique, de manière à donner un très-gros bloc pesant plus de 650 kilogrammes, qui doit être ensuite débité au marteau. C'est là un inconvénient sérieux ; aussi cette machine n'est-elle guère employée que dans l'usine de son inventeur à Givors, où elle fonctionne depuis 1842.

Pour diminuer la dimension des briquettes sans augmenter

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la main-d'œuvre, M. Middleton réunit plusieurs moules sur un même chariot circulaire, et les amène, par la rotation de ce dernier, l'un après l'autre sous un piston agissant à la façon d'un marteau-pilon ; une plaque de fonte pleine sert de base commune aux moules pendant la compression. Quand celle-ci est achevée, un nouveau mouvement de rotation amène la briquette au-dessus d'un orifice percé dans la plaque inférieure et au-dessous d'un deuxième piston, qui opère le démoulage.

Le grand inconvénient de cet appareil est la perfection absolue qu'il exige dans la position du chariot pendant les diverses opérations ; aussi a-t-il été promptement modifié par M. Mazeline, qui, tout en conservant le chariot tournant, a substitué au piston compresseur un tasseau placé au fond de chaque moule. La base commune est alors placée à la partie supérieure des moules, et la compression est effectuée par l'élévation lente du tasseau, dont le fond s'appuie pendant la rotation sur une surface de vis à filet carré, et s'élève régulièrement d'un mouvement hélicoïdal sur cette dernière. Quand la briquette est suffisamment comprimée, le chariot se trouve en face d'une échancrure de la plate-forme supérieure, et, le mouvement élévatoire du tasseau continuant, le démoulage s'opère de lui-même. Quand le tasseau est arrivé au point culminant de l'hélice directrice, la briquette se trouve à fleur de moule, où elle est enlevée immédiatement par une main mécanique (1).

La Compagnie des chantiers de l'Océan a exposé un intéressant spécimen de cette machine (type n° 3), destiné à la fabrication de briquettes de 5 kilogrammes. Cette machine produit 160 tonnes en vingt-quatre heures et exerce à la surface des briquettes une compression de 6,500 kilogrammes, soit un peu plus de 100 atmosphères.

La machine Révollier a conservé partiellement le chariot Middleton, en le combinant avec l'emploi de la presse hydrau-

(1) Voir le recueil de M. Armengaud, t. XIV, p. 3, Pl. 1.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lique; le mouvement du chariot est fractionné en quatre parties, comprenant chacune une rotation de 90° et correspondant aux opérations suivantes : 1° amenée des moules sous les mélangeurs et remplissage des moules; 2° arrêt des moules devant un ouvrier qui complète ou rectifie leur remplissage ; 3° amenée des moules pleins sous un fort sommier en fonte qui les ferme pendant la pression comme dans la machine Mazeline, et compression des briquettes par l'action de la presse sur les tasseaux qui forment, ici encore, le fond mobile des moules; 4° amenée des moules avec leurs briquettes sous une deuxième presse, qui opère le démoulage dans des circonstances analogues à celles de la machine Mazeline.

Dans le type adopté à Anzin, les briquettes sont petites et la compression s'exerce sur 30 à 40 d'entre elles à la fois. C'est là une bonne solution, car il y a, au point de vue de la compression, un avantage sérieux à réduire au moins la hauteur des briquettes, l'énorme frottement exercé par le mélange sur les parois du moule s'opposant rapidement à la transmission de la pression.

Les expériences de M. Gérondeau prouvent, en effet, que la perte de force due à ce frottement est si considérable que, pour des briquettes ayant 0^m15 de hauteur pour 0^m29 sur 0^m18 de dimensions tranversales, la densité va en diminuant, de la base en contact avec le piston à la face opposée, depuis 1.21 jusqu'à 1.16, soit de près de 5 pour 100 ; tandis que cette diminution de densité reste inférieure à 1 pour 100 (1.20 à 1.19), quand la hauteur de la briquette est réduite à 0.11, et les dimensions transversales amenées à 0.30 sur 0.24 : ce sont là aussi les dimensions les plus répandues. Il en existe pourtant un deuxième type, correspondant à une machine exposée par la Compagnie des chantiers de l'Océan, et qui n'a en moyenne qu'une hauteur de 0^m08, pour une largeur de 0^m16 et une longueur de 0^m25. Dans ces conditions, la différence de densité des deux bases reste certainement au-dessous de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1 pour 100, et n'exerce, par suite, plus d'influence sensible sur la qualité du produit.

Les centres industriels où ce type de machines est adopté deviennent de plus en plus nombreux; nous ne citerons que les principaux :

Système Révollier. — Blanzy, Anzin, Portes et Sénéchaz;

Système Mazeline.— En France : la Grand'Combe, Béthune, Bessèges, Saint-Étienne;

Id. En Belgique : Dehaynin-Desse et F. Dehaynin (Charleroi);

Id. En Prusse : Mühlheim sur Ruhr;

Id. En Angleterre : Glyncorrwg Coal Company (pour l'amirauté anglaise), etc.

2° *Appareils à moules ouverts.*—Il n'y a guère qu'une seule machine à moules ouverts qui ait été sanctionnée par la pratique; mais son usage a pris un développement si considérable qu'elle fabrique à elle seule près de la moitié des agglomérés consommés par l'industrie. Elle est due à M. Évrard et fondée sur l'expérience suivante, faite par l'inventeur lui-même.

En comprimant du menu de charbon sec dans un tube cylindrique ayant 0^m08 de diamètre et 0^m03 d'épaisseur, ce tuyau éclate dès que sa longueur dépasse 0^m35 à 0^m40. Il ne résulte, d'après les calculs de M. Gérondeau (1), que le coefficient de frottement du charbon menu sec sur la fonte polie est de 0^m70, et que, pour faire avancer dans un cylindre de 0^m08 de diamètre, 0^m03 d'épaisseur et 0^m30 environ de longueur, une briquette de charbon, il faut exercer à l'une des extrémités une pression supérieure à 100 kilogrammes par centimètre carré, et, par suite, plus grande que 100 atmosphères. Si donc, on fait arriver d'une manière continue, pendant que le piston décrit sa course, du menu frais à la partie antérieure d'un pareil tube, ce menu sera comprimé, puis refoulé dans le cylindre, et cela à une pression voisine de 100 atmosphères;

(1) Mémoire de M. Gérondeau, *Revue universelle de Liége*, t. I.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

il adhérera d'ailleurs à la portion déjà pressée dans le cylindre, de manière à former un tout compact avec elle, pourvu que la surface inférieure du piston refouleur soit suffisamment cannelé.

La machine Évrard, dont un petit modèle au dixième, très-complet et très-soigné, a été exposé par la Société des Houillières de Saint-Etienne et de l'usine d'agglomération de Givors, n'est autre chose que la réalisation de l'expérience que nous venons de décrire : une série de cylindres avec leurs pistons, généralement au nombre de seize, sont disposés suivant les rayons d'un cercle, au centre duquel se trouve un excentrique dont la bague est reliée à toutes les tiges de piston par un nombre égal de bielles, et dont, par suite, une rotation complète entraîne une double course de tous les pistons accouplés.

Le mélange est d'ailleurs versé d'une manière continue dans un orifice, placé à la partie antérieure des moules et calculé de telle sorte, que la quantité de menu et de brai qu'il peut introduire dans le cylindre, pendant que celui-ci est laissé à découvert par le piston, correspond à 0^m03 environ de briquette comprimée. Afin de pouvoir faire varier la compression suivant la nature du charbon, du ciment et aussi celle du produit que l'on veut obtenir, les deux moitiés du cylindre qui forment la partie antérieure du moule ne sont pas d'une seule pièce, mais seulement juxtaposées et réunies par un ressort et une vis de serrage. A leur sortie du moule, dont le diamètre varie de 0^m12 à 0^m15, les rondins sont reçus sur une palette munie d'un contre-poids, et qui bascule avec eux dès qu'ils dépassent une longueur variable suivant les appareils de 0^m65 à 0^m70. La rupture se fait naturellement à la section d'encastrement, c'est-à-dire, à l'orifice même du moule. Enfin, l'excentrique reçoit le mouvement du moteur par l'intermédiaire d'un arbre vertical, dont le prolongement muni de palettes sert au malaxage du mélange.

Le principal avantage de cette machine, dont l'élégance et la symétrie ont contribué à rehausser la vogue, et qui, d'ail-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leurs, était déjà très-répandue lors de l'apparition de ses rivales, est la grande homogénéité de son produit, dont la densité peut atteindre 1^{m}36 (Dehaynin). Cette qualité, moins parfaitement réalisée par les autres machines, tient à la minceur et à la régularité de la couche sur laquelle s'effectue la compression.

Quant à ses inconvénients, ils peuvent se réduire à deux : l'obligation d'employer presque toujours un peu de brai gras ou un mélange de brai sec et de goudron, ce qui rend difficile la combustion sans fumée; et, en second lieu, la complication même de la machine, ainsi que la perte de force qui résulte de la transmission de cette dernière par l'intermédiaire d'un excentrique. Cette perte s'élève, suivant M. Gérondeau, à une fraction de la force totale égale à celle qui est utilisée pour la compression, et fait monter, comme on le voit dans le tableau ci-joint, de 5 à 7 et même à 8, le nombre de chevaux dépensés par heure et par tonne de produit. Malgré ces inconvénients, la machine Évrard est encore celle qui est la plus répandue aujourd'hui, au moins en France. Nous pensons, toutefois, que c'est moins à elle qu'à ses rivales qu'appartient l'avenir, et que, dans les usines où l'on installera dorénavant des appareils de ce genre, on accordera plutôt la préférence aux machines du système Mazeline et Révollier, qui sont d'une construction plus simple et d'un entretien plus facile et moins dispendieux.

3° *Appareils à roues.* — Nous avons déjà signalé la substitution, faite par les diverses Compagnies qui fabriquent le charbon de Paris ou ses congénères, des appareils compresseurs rotatifs à ceux du type Popelin-Ducarre.

L'appareil, employé par la Compagnie du charbon de Paris, est dû à M. Mazeline, et consiste en deux roues verticales dont les jantes portent une série d'entailles demi cylindriques égales, de manière à former une sorte d'engrenage. Elles se meuvent dans un même plan et sont disposées de telle sorte que les parties pleines des deux jantes s'appuient tan-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gentiellement l'une sur l'autre. Les deux demi-cylindres, que forment les entailles de chacune d'elles, composent alors, en se correspondant au contact, des moules cylindriques complets dans lesquels s'opère la compression du mélange, versé d'une manière continue sur les jantes par une trémie. Le démoulage s'effectue, grâce à une disposition ingénieuse due à M. Pernolet, par le frottement de deux petites plaques parallèles, embrassant les deux roues un peu plus bas que le point du contact, et saisissant les petits rondins par leurs bases.

Cet appareil a permis d'abandonner l'emploi du goudron et de lui substituer le brai sec, qui entre dans le mélange pour une proportion de 38 à 40 pour 100 de charbon fabriqué, tandis qu'il fallait employer 50 pour 100 de ciment, quand ce dernier était du goudron. Cette substitution a entraîné de grandes modifications dans l'ensemble de la fabrication.

Le brai sec ne perdant, par calcination, que 40 pour 100 environ de matières volatiles, les gaz produits ne suffisent plus pour donner, par leur combustion, la chaleur nécessaire à leur expulsion, et c'est pour compléter cette dernière que l'on emploie, sous les grilles, le mélange de poussier de coke, de menu de houille et de brai, dont nous avons déjà signalé les avantages et l'économie. En revanche, la forte proportion de coke que donne le brai sec augmente le poids utile du rondin et l'élève à 61 pour 100 du mélange, mais elle en diminue un peu la porosité et oblige à employer une plus forte proportion de tannée, dont le prix est plus élevé que celui du poussier du charbon de bois; enfin, le brai sec livré à l'usine par la Compagnie Parisienne, à raison de 6 fr. 50 les 100 kilogrammes, est plus cher que le goudron, qui ne revient qu'à 3 fr. 50, pris à l'usine à gaz de Versailles. En résumé, l'ensemble de toutes ces modifications a réduit dans une forte proportion la fumée de l'usine, en donnant plutôt une diminution qu'une augmentation du prix de revient, et cela, sans préjudice aucun pour la bonne qualité du produit obtenu.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La production annuelle de l'usine, qui a un peu diminué dans ces derniers temps, est aujourd'hui de 3,500 sacs de 50 kilogrammes; celle des autres usines réunies s'élève à peu près au même chiffre, en sorte que l'on peut évaluer à 3,500 tonnes la consommation parisienne annuelle de ces combustibles.

A côté de la machine que nous venons de décrire, et qui, destinée à un produit tout spécial, remplit d'une manière très-satisfaisante les conditions principales qu'exige la fabrication de ce produit, il y a d'autres roues tangentielles qui fabriquent des briquettes proprement dites.

Ces roues deviennent alors de véritables cylindres lamineurs; les uns entièrement pleins (système Verpilleux) donnent un ruban d'une longueur indéfinie; d'autres sont munis de parties alternativement saillantes et rentrantes, présentant les dispositions variables (systèmes Milch, Mazeline, Jarlot), qui font l'office de moules et donnent des briquettes séparées.

Ces appareils, dont nous résumons plus loin les éléments dans un tableau d'ensemble (1), ont tous pour avantage commun leur simplicité, et par suite, le bas prix de leur installation et le peu de force qu'exige leur action; mais, comme conséquence naturelle, ils ne peuvent aussi s'appliquer qu'à des mélanges fortement chargés d'un ciment qui devra toujours être du brai gras ou un mélange de brai sec et de goudron; d'autre part, la compression qu'ils permettent de réaliser est toujours imparfaite, et l'on n'obtient jamais, par leur emploi, des briquettes aussi denses que celles fournies par les autres systèmes. En résumé, nous pensons que ces appareils n'auront jamais qu'une importance toute locale et qu'ils doivent être réservés pour le cas où les menus à agglomérer proviennent de charbons très-gras, d'une agglutination très-facile, et où les briquettes produites ne sont destinées ni à de longs transports, ni à de bien nombreuses manipulations.

4° *Appareils destinés à la fabrication des briquettes sans*

(1) Pour leur description complète, voir l'ouvrage déjà cité de M. Grüner.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ciment. — Nous ne nous sommes occupés jusqu'ici que des briquettes à ciment, et ce sont en effet, aujourd'hui encore, de beaucoup les plus nombreuses. Dans le principe, lorsque le brai et même le goudron étaient presque sans valeur, et que leur production était notablement supérieure à leur consommation, leur emploi était la meilleure et même la seule solution logique du problème. Mais l'augmentation sans cesse croissante de la fabrication des agglomérés, alors que celle des goudrons et des brais, qui, comme nous l'avons dit plus haut, sont les produits accessoires des usines à gaz, ne progressait que très-lentement, a non-seulement provoqué une hausse considérable dans la valeur de ces ciments, mais encore a rendu la fabrication des agglomérés en France plus ou moins tributaire de l'Angleterre, d'où provient la plus grande partie des goudrons et de leurs dérivés.

Aussi, indépendamment des efforts faits, d'une manière générale, pour réduire la proportion de ciment nécessaire avec les appareils que nous avons décrits jusqu'ici, — broyage et malaxage plus soignés, température plus élevée du mélange, — a-t-on cherché, dans ces derniers temps, à s'affranchir complétement de la sujétion qu'entraîne l'emploi du ciment, en agglomérant directement le charbon sans l'auxiliaire d'aucun liant. Le ciment est alors remplacé par les matières goudronneuses que renferme le menu lui-même, et qui sont amenées à la surface des petits fragments par une distillation partielle opérée, tantôt avant la compression (système Bessemer), tantôt, au contraire, après cette dernière et dans les moules même où elle a été effectuée (système Baroulier). L'agglomération est d'ailleurs effectuée par l'un quelconque des appareils permettant l'emploi de fortes pressions. Quand on emploie le chauffage dans les moules, c'est aux appareils à moules fermés qu'il faut avoir recours, et ces derniers doivent être portés avec leur contenu à la température de 300 à 400°, afin que la distillation soit suffisante pour souder complétement les parcelles du menu.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette opération n'est évidemment réalisable qu'avec du charbon gras, ou avec un mélange de charbon maigre et de charbon gras, et l'économie qu'elle entraîne, par la suppression du brai, est au moins partiellement compensée par la complication plus grande de l'outillage et de la main-d'œuvre. Toutefois, il est certain que ce procédé, quelque imparfait qu'il soit aujourd'hui, indique tout au moins la marche qu'il faudra suivre, le jour où le goudron et le brai viendront à faire défaut dans les centres de production des combustibles artificiels.

Nous résumons, dans le tableau ci-contre, les données fondamentales relatives aux divers systèmes que nous venons de passer en revue.

TYPE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TYPE ET NOM DE LA MACHINE.	NATURE du ciment.	PRODUCTION en tonne par heure.	POIDS de la briquette.	FORCE DÉPENSÉE		PRINCIPAUX CENTRES où elle est appliquée.
				force totale de la machine.	force par tonne et par heure.	
		tonnes.	kilogr.	chevaux.	chevaux.	
Compresseurs à moules fermés. Popelin-Ducarre.....	Goudron.	»	0.100	15 à 25	»	Charbons de Paris.
Mazeline...	Brai sec.	13 à 14	9 à 10	70 à 80	5 à 6	Grand'Combe, Bessèges, Béthune, Charleroi.
Mazeline (type plus petit).....	Brai sec.	8	5	30	6	»
Révollier	Brai sec.	10	10 au plus.	60	6	Blanzy, Anzin, Portes et Sénéchaz.
Marsais.....	Brai sec.	2.5	465	12 à 15	5	Givors (usine Marsay).
Compresseurs à moules ouverts. Evrard	Brai gras ou goudron et brai sec.	5 à 6	8 à 10	45 à 50	6 à 7	La Chazotte, St-Étienne, Grand'Combe, Béthune, Nîmes, Givors.
Evrard (type adopté par M. Dehaynin)..	Brai gras.	10	8 à 10	70 à 80	7 à 8	Dehaynin-Desse et F. Dehaynin, à Charleroi.
Compresseurs à roues tangentielles. David (Mazeline)....	Brai gras plus rarement brai sec.	3 à 3.5	1	12 à 15	4	Montchanin, Graissessac, le Havre, Caen, Brest.
Jarlot.....	Brai gras.	5	»	25 à 30	5 à 6	Bordeaux (Cie du Midi).
Machine des charbons de Paris ...	Brai sec.	3	0.30	15 à 25	10 à 18 (2)	Cie du Charbon de Paris.

(1) La densité des rondins de M. F. Dehaynin atteint 1.36, celle de la houille n'étant que 1.32.
(2) Dans ce chiffre sont comprises toutes les opérations accessoires, l'broyage, malaxage, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV.

PRIX DE REVIENT, CONSOMMATION ET QUALITÉ DES COMBUSTIBLES ARTIFICIELS.

§ 1. — Prix de revient et de vente.

Le prix de revient des combustibles artificiels se compose naturellement de celui de leurs éléments, augmenté des frais de fabrication. Ces derniers varient à peu près de 1 fr. 80 à 2 fr. 50 par tonne de briquettes, dont moitié pour la main-d'œuvre et moitié pour les frais généraux. Quant au ciment, nous avons vu qu'il en fallait, sauf quelques cas spéciaux, de 7 à 10 pour 100 : or, le prix du brai sec à Paris est en ce moment de 6 fr. 50 les 100 kilogrammes; on peut donc admettre pour le brai une dépense de 4 fr. 20 à 6 francs. On voit ainsi que pour avoir la valeur de la tonne de briquettes, il faut ajouter de 6 à 8 francs au prix de celle du menu. On obtient alors les prix suivants que nous extrayons presque tous du mémoire de M. Grüner :

Belgique	12f 50c à 13f 00c
Valenciennes, Anzin	18 »
Paris	26 » à 29 »
Dieppe, le Havre, Caen, Compagnie de l'Ouest	25 40 à 26 40
Nantes, Bordeaux	28 » à 30 »
Brassac, Grand'Combe, Montchanin, Graissessac, Blanzy	20 50 à 21 50

Ces prix sont de 2 à 4 francs supérieurs à ceux de la houille ordinaire, tout venant; ils sont dans le Nord un peu inférieurs à ceux de la houille en roche, pure et bien choisie, mais ils les surpassent dans le bassin du Gard, où leur pureté, la régularité de leurs qualités et la faveur légitime qu'on leur accorde, leur donnent une plus value de 2 francs environ sur la houille en roche.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 2. — Production et consommation.

A défaut de documents nous permettant de préciser la production totale des agglomérés en Europe, nous donnons ici quelques renseignements qui permettent d'estimer, au moins approximativement, son importance.

Les principaux centres producteurs sont, en France, la Société des houillères de Saint-Étienne, la Société de la Chazotte, celles de la Grand'Combe (160,000 tonnes), de Portes et Sénéchaz (3,500 tonnes), d'Anzin et de Blanzy, enfin, la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, qui vient de construire deux usines, l'une à Nîmes, l'autre à Givors, avec deux machines du type Évrard dans chacune d'elles. La production annuelle des agglomérés de ces différentes fabriques dépasse 600,000 tonnes; elle s'élève à 400,000 tonnes pour la Belgique, où le plus grand producteur est M. F. Dehaynin, dont les usines de Gosselies et de Marcinelles, près Charleroi, ne livrent pas moins de 175,000 tonnes. Elle atteint des proportions moins élevées en Prusse, en Autriche et en Espagne, où elle est à peu près entièrement concentrée à Mühlheim-sur-Ruhr, à Kladno (Compagnie Impériale-Royale des chemins de fer autrichiens), et à Barcelone (Compagnie El Veterano). Quant à la production anglaise, elle ne dépasse pas 150,000 tonnes, dont une forte proportion est exportée sur le continent. En France, la plus grande partie des combustibles artificiels est absorbée par la marine et les chemins de fer. La Marine impériale en fait moins usage encore que les Messageries impériales, qui emploient de préférence les briquettes et les rondins de la Grand'Combe.

Quant aux chemins de fer, leur consommation a été :

En 1861....	de	215,854 tonnes.
En 1862....	de	250,254 —
En 1863....	de	283,440 —

En 1867, elle dépassera 350,000 tonnes, et sur ce chiffre, la seule ligne de Paris-Lyon-Méditerranée est inscrite pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

près de 250,000 tonnes, car elle ne consomme pas moins de 800 tonnes de rondins Evrard par jour, sans compter les briquettes qu'elle demande à la Grand'Combe et à Saint-Étienne. Aussi, pensons-nous que, malgré l'inconvénient de la fumée, atténuée mais non supprimée par l'usage, toujours incomplet, des fumivores, le coke va peu à peu disparaître de nos voies ferrées, pour céder la place soit à la houille en roche, soit mieux encore aux combustibles artificiels, qui procurent une économie de 20, 30 et même 50 pour 100.

§ 3. — Qualités et usages.

Les deux besoins qui ont provoqué l'existence de l'industrie que nous venons d'étudier, l'utilisation des menus et la production de combustibles exceptionnels, se reflètent naturellement sur les qualités des produits destinés à donner satisfaction à ces besoins. Nous n'avons rien à ajouter sur les conditions qu'ils ont à remplir, quand il ne s'agit que de l'utilisation de matières qui, sans cela, seraient à peu près sans valeur, puisque, dans ce cas, on subit plutôt qu'on ne choisit les éléments qui influent sur la qualité du produit. Quant au contraire, le but de la fabrication est un combustible exceptionnel, on peut se montrer plus exigeant et réclamer les qualités les mieux appropriées à l'usage auquel on le destine.

Or, en laissant de côté les usages domestiques, auxquels les charbons de Paris donnent une pleine satisfaction, le principal emploi des agglomérés est la combustion sous les chaudières servant à la marine et aux compagnies de chemins de fer. La marine apprécie surtout la facilité d'arrimage, la dureté, la cohésion, l'homogénéité et l'élévation du pouvoir calorifique; elle regarde comme un inconvénient grave la fumée noire et l'odeur qui sont les conséquences presque inévitables de l'emploi du goudron et du brai gras. Aussi l'article 9 du cahier des charges, imposé par l'administration de la marine impériale aux fournisseurs de charbon de terre, résume-t-il comme suit les qualités exigibles d'un bon aggloméré :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« Les agglomérés devront être durs, sonores, homogènes, peu hygrométriques, à peu près dépourvus d'odeur : ils seront fabriqués avec des menus de bonne qualité, au moyen de l'adjonction de 8 pour 100 de matière agglomérante. La substance agglomérante sera le braisec, c'est-à-dire, le résidu du goudron, dont on a enlevé 40 pour 100 de matières volatiles, et qui, à cet état, est à la fois très-solide et à peu près sans odeur.

« Le poids des agglomérés ne dépassera pas 8 kilogrammes; leur densité moyenne ne devra pas être inférieure à 1.19.

« Les agglomérés devront s'allumer facilement et brûler avec une flamme vive et claire, sans se désagréger au feu et en ne produisant qu'une fumée grise et légère.

« Soumis pendant vingt-quatre heures à une température de 60°, dans une étuve, ils ne devront pas éprouver de ramollissement sensible; ils ne devront pas être inférieurs, sous le rapport de la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible, aux charbons naturels admis par l'administration; la proportion des cendres et des résidus de combustion ne devra pas excéder 10 pour 100. »

Les briquettes rectangulaires provenant des moules fermés sont celles qui remplissent le mieux ces conditions; ce sont aussi celles qui permettent l'arrimage le plus économique (1), et la Marine impériale ne loge pas moins de 820 kilogrammes d'agglomérés par mètre cube de soutes.

D'autres compagnies sont moins exigeantes ; celle des Messageries impériales, par exemple, ne stipule, dans ses traités avec les mines du Gard, que les clauses suivantes :

« Les agglomérés seront de bonne qualité; le choc et la chute ne devront occasionner aucune désagrégation.

« Ils seront exempts de menus, sauf ceux d'usage. Le gou-

(1) Il y aurait à ce point de vue avantage à augmenter le poids des briquettes; l'homogénéité au contraire s'oppose à cet agrandissement. La briquette de 8 à 10 kilgrammes paraît le meilleur compromis entre ces deux exigences contradictoires.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dron n'entrera dans leur fabrication que dans la proportion de 2 pour 100; le surplus nécessaire pour l'agglomération sera le brai sec. »

Les compagnies de chemins de fer se montrent avec raison plus sévères sur la teneur en cendres : la ligne du Nord stipule un maximum de 6.5 pour 100; Orléans et Lyon, 7 pour 100; le Midi, 7.5 pour 100; en revanche, elles deviennent, à mesure qu'elles adaptent à leurs machines des appareils fumivores, de moins en moins exigeantes au point de vue de la fumée et par suite du ciment. La question d'arrimage aussi a moins d'importance pour elles que pour la marine; aussi emploient-elles souvent des briquettes Évrard, fabriquées en général au brai gras. La ligne de Lyon préfère même ces dernières à tout autre combustible, parce qu'elles donnent un meilleur tirage sur la grille, et parce que leur ténacité, quoique un peu moindre que celle des briquettes rectangulaires, est toujours supérieure à celle des charbons ordinaires, et que le déchet dû aux transports et à la conservation dans les magasins ne dépasse jamais 2 pour 100. D'autre part, les rondins Évrard ont encore pour la marine l'avantage de prévenir, à cause de la circulation régulière qu'elles permettent à l'air, l'échauffement si dangereux que subissent certains charbons qnand ils sont accumulés dans les soutes.

Quant aux autres qualités, la ténacité, le pouvoir calorifique et la pureté, elles sont résumées, pour les principaux charbons servant à la marine impériale, par le tableau ci-contre, qui est le résultat des expériences faites à Brest en 1862 par M. Delantel, ingénieur de la marine.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau n° 4.

DÉSIGNATION DES CHARBONS.	DÉCHET POUR CENT			POUVOIR CALORIFIQUE rapporté à celui de la houille en roche de Cardiff (1).	TÉNACITÉ. Rapport du gros au menu (2).
	Cendres.	Escarbilles.	Total.		
A. *Charbons à courte flamme.*					
ANZIN. Roche (puits Thiers).....	5.70	2.50	8.20	1.053	35 à 40
ANZIN. Briquettes cylindriques, au brai sec.....	3.48	2.91	6.39	1.025	50 à 60
Briquettes rectangulaires, au brai sec.....	3.48	2.91	6.39	1.010	50 à 60
CHARLEROI. Rondins Evrard-Dehaynin.....	»	»	6 à 7	1.002	45 à 50
CARDIFF. Roche	6.11	2.31	8.42	1.000	42 à 47
CHAZOTTE. Briquettes cylindriques au brai gras.....	3.53	3.49	7.02	0.981	»
B. *Charbons gras.*					
FIRMINY. Roche.....	3.88	4.15	8.03	0.910	»
BRASSAC. Roche.....	11.83	4.67	16.50	0.8875	»
C. *Charbons à longue flamme.*					
BRUAY. Roche.....	2.34	1.52	3.86	0.878	»
NEWCASTLE. Roche.....	3.55	1.62	5.17	0.841	50 à 60
BLANZY..... Puits Cinq-Sous.....	4.02	5.22	9.24	0.781	»
BLANZY..... Puits Sainte-Marie....				0.740	»

(1) *Pouvoir calorifique.* Le charbon en roche de Cardiff, pris pour unité, vaporise en grand, dans une chaudière tubulaire, d'après la moyenne de plusieurs expériences, 8 kil. 30 d'eau par kilogramme de houille.

La comparaison avec le coke a donné des résultats moins nets. Sur les chemins du Nord et de l'Ouest, on a constaté une légère supériorité des briquettes sur le coke, tandis que sur les lignes d'Orléans et du Midi, on estime qu'il y a à peu près égalité; sur la ligne de Lyon, la dimension peut-être un peu faible des grilles et la provenance des briquettes (Montchanin, Blanzy, Epinac), a fait trouver une petite infériorité des briquettes.

(2) La ténacité est mesurée par le rapport du gros restant au menu pouvant traverser des mailles d'un crible de $0^{m}03$ de côté, après la rotation de 50 tours d'un fragment de 500 grammes environ du combustible à essayer dans un cylindre horizontal muni de cloisons métalliques.

Ce tableau montre clairement que les briquettes essayées,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et surtout celles d'Anzin, présentent un ensemble de qualités qui ne se trouvent réunies, au même degré, chez aucun des combustibles auxquels on les a comparées. Si, d'autre part, on complète ces données par celles relatives aux prix, fournis par le tableau n° 1, on comprendra que la faveur dont jouissent les agglomérés est parfaitement légitime, et qu'elle repose tout à la fois sur les propriétés de ces combustibles et sur l'économie qu'entraîne leur emploi.

A côté des usages que nous venons de signaler, nous devons en mentionner un autre, qui n'a pas encore pris un grand développement, mais auquel est peut-être réservé un sérieux avenir; c'est l'emploi des combustibles artificiels pour la métallurgie. Il existe en effet des opérations, particulièrement dans le travail du fer, où la pureté des combustibles influe d'une manière profonde sur celle du produit métallique. Dans ce cas, la faible teneur en cendres devient la condition prédominante, et il y aurait tout avantage à abaisser cette dernière à 4 et même à 2 pour 100. Dès lors l'attention doit se reporter sur le lavage du menu, bien plus que sur son agglomération. Dans beaucoup de cas, cette dernière serait considérablement simplifiée et le plus souvent même remplacée par la calcination.

La découverte des immenses gisements de fer magnétique de la province d'Oran (Mockta-el-Hadid) vient de fournir à la métallurgie française une matière première d'une pureté presque parfaite, et nous ne doutons pas qu'en substituant, ou tout au moins en adjoignant aux habitudes actuelles de la grande fabrication, celle de la fabrication exceptionnelle à l'aide de combustibles d'une grande pureté, on n'arrive à doter la France de fers et d'aciers au moins comparables à ceux que nous fournissent aujourd'hui la Prusse Rhénane, l'Angleterre et la Scandinavie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III

ACIER

PAR M. GOLDENBERG.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Par suite des immenses progrès accomplis dans la fabrication des aciers, depuis une quinzaine d'années, cette branche d'industrie acquiert, de jour en jour, une importance plus grande et un développement plus considérable ; on peut même déjà prévoir avec certitude que, pour beaucoup d'applications, l'acier se substituera de plus en plus au fer. Pour pouvoir mieux apprécier la valeur de ces progrès et les causes du développement extraordinaire de cette fabrication, il ne sera point inutile de résumer l'état actuel de nos connaissances sur la nature de l'acier et sur les procédés servant à sa production. Nous nous efforcerons de rendre cet exposé aussi succinct et aussi clair que possible, en laissant de côté les explications trop théoriques ou trop scientifiques, et en éliminant toutes les données qui n'auraient pas été établies d'une manière irréfutable.

On n'est nullement fixé sur la nature véritable de l'acier ; les uns l'envisagent comme un carbure de fer; d'autres comme un azocarbure de fer ; d'autres encore comme un alliage de fer et de carbure de fer, etc., etc. Lorsqu'on considère que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'addition d'un dix-millième d'une substance étrangère (telle que le phosphore, l'arsenic) peut modifier profondément les propriétés physiques d'un métal, on conçoit combien ce genre de recherches doit présenter de difficultés. Aussi nous bornons-nous à traiter cette question au point de vue auquel l'envisagent et l'apprécient les praticiens.

§ 1. — Division des aciers.

En pratique, on qualifie d'*acier* le métal plus ou moins ductile qui, obtenu par l'affinage et le corroyage des fontes de fer (1), est susceptible de prendre la *trempe*, c'est-à-dire, de devenir *dur* et *cassant*, lorsque, après avoir été chauffé au rouge, il est refroidi brusquement par immersion dans un liquide réfrigérant (2). Un métal obtenu avec les mêmes minerais ou fontes de fer qui ne prend pas la trempe est classé comme fer. Jusque dans ces derniers temps, on classait les aciers en trois catégories bien distinctes : 1° les aciers naturels ; 2° les aciers cémentés ; 3° les aciers fondus. Deux nouvelles catégories ont dû y être ajoutées, comme conséquence des procédés de fabrication d'une invention plus récente ; ce sont : 4° les aciers puddlés (datant de l'année 1850) ; 5° les aciers Bessemer 1856 (3).

Les *aciers naturels* se produisent généralement par l'affinage des fontes aciéreuses, au charbon de bois et par le corroyage des *aciers bruts* ainsi obtenus. Cet affinage s'opère dans des feux de forge, assez semblables à ceux dans lesquels on affine le fer. Les fontes aciéreuses (4) y sont amenées à l'état

(1) Dans les forges catalanes, on obtient aussi de l'acier directement des minerais de fer ; mais ce procédé tend à disparaître (s'il n'est déjà abandonné) à cause de son imperfection et de la cherté toujours croissante des bois.

(2) Nous ne mentionnons pas la trempe à l'air, parce qu'elle n'a qu'une signification scientifique.

(3) Nous ne parlerons pas ici des aciers Chenot, Uchatius et autres qui, jusqu'à présent, n'ont pas reçu une grande application manufacturière.

(4) Dans la Nièvre, les Vosges et la Haute-Saône, on produisait, autrefois, des aciers naturels, d'une qualité ordinaire, avec les fontes de fer grises, qu'on transformait en galettes de fonte blanche.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pâteux et soumises, au milieu d'un feu de charbon de bois pendant environ 8 heures, à l'action oxydante et affinante d'une soufflerie. Au bout de ce temps, on retire de la forge un gâteau (loupe) d'acier brut du poids d'environ 200 kilogrammes qu'on divise en cinq ou six morceaux et qu'on étire en barres carrées sous un gros marteau.

Les barres carrées d'acier brut sont ensuite *lanquettées*, c'est-à-dire aplaties sous un laminoir ou sous un martinet. Les languettes, après avoir été préalablement trempées, sont cassées en fragments pour pouvoir être reconnues et classées, suivant les qualités. Ces fragments sont enfin superposés en petits paquets ou trousses du poids de 25 à 30 kilogrammes, qu'on fixe dans de grosses pinces, pour les souder, les corroyer et les étirer dans des feux de forge chauffés à la houille.

Les *aciers cémentés* s'obtiennent par la cémentation ou la carburation des fers en barres, dans des fours construits exprès à cet usage. Les fers qu'on emploie pour la cémentation possèdent tous, plus ou moins, une propension aciéreuse ; voilà pourquoi on les appelle généralement *fers à acier*. Plus la propension aciéreuse de ces fers est grande et plus ils sont purs, plus la qualité des aciers qu'ils produisent est supérieure. Jusqu'à présent, les meilleurs aciers cémentés et fondus ont été faits avec les fers de Suède, des mines de Dannémora. Pour les qualités ordinaires, les barres de fer cémentées sont simplement étirées au marteau ou au laminoir ; pour les qualités supérieures, on casse les barres cémentées en plusieurs morceaux qu'on superpose, pour les corroyer, dans un feu de raffinerie ordinaire.

Pour produire l'*acier fondu*, on casse les barres de fer cémentées en petits morceaux, qu'on choisit, en mettant ensemble les morceaux qui présentent le même grain afin de pouvoir s'en servir séparément, ou en les mélangeant selon les qualités d'acier fondu qu'on veut produire. On met ensuite

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces morceaux d'acier dans des creusets pouvant contenir de 15 à 25 kilogrammes et même au delà. On place ces creusets dans des fours, chauffés au coke ou au gaz, jusqu'à ce que le métal se soit liquéfié; alors on retire les creusets et on en coule le contenu dans des lingotières en fonte. Le lingot ou le bloc d'acier ainsi fondu est ensuite buriné et ressué, puis étiré aux dimensions voulues, sous les laminoirs ou les martinets.

L'*acier puddlé* se produit dans les fours à réverbère, en y chauffant, au moyen de la houille, les fontes aciéreuses, déposées sur un lit de scories, jusqu'à ce qu'elles entrent en fusion et commencent à s'affiner. On brasse fréquemment, en ajoutant encore des scories, ou peroxyde de fer, ou peroxyde de manganèse, ou sous-carbonate de soude ou sel, etc., etc., et on sort la matière pâteuse par lopins de 40 à 50 kilogrammes, qu'on étire ensuite successivement sous le marteau. Il faut environ deux heures pour chaque opération. On fait cinq à six charges de 200 kilogrammes par jour. Un four à puddler peut donc produire mensuellement de 30,000 à 40,000 kilogrammes d'acier; il y en a qui produisent jusqu'à 50,000 kilogrammes.

Les aciers puddlés ainsi obtenus peuvent être employés, non corroyés, à la fabrication de beaucoup d'objets, en les ressuant convenablement dans le même four dans lequel on les puddle et en les étirant ensuite aux dimensions voulues sous le martinet ou sous le laminoir. Mais si l'on veut les rendre encore plus homogènes, il faut les soumettre au corroyage, comme les aciers bruts naturels obtenus par l'ancien procédé.

On se sert aussi des aciers puddlés pour en faire de l'acier fondu au creuset (1), soit en leur donnant encore une légère cémentation, soit en les employant simplement puddlés sans

(1) Tous les aciers fondus, que M. Krupp produit, sont faits avec l'acier puddlé provenant des minerais du pays de Nassau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cémentation préalable. Il est à remarquer que le puddlage fournit des aciers d'une qualité plus régulière et plus homogène que les aciers naturels fabriqués au charbon de bois dans les feux de forge. Ces derniers sont d'une texture et d'une nature tellement irrégulières, qu'il n'y en a que fort peu qu'on puisse employer à l'état brut et non corroyés, pour la fabrication d'objets d'une qualité tant soit peu supérieure.

L'acier Bessemer s'obtient en faisant couler de la fonte dans une cornue ou couvertisseur d'une construction spéciale et qui a été préalablement chauffé au rouge. La masse liquide y est exposée pendant quinze à vingt minutes à l'action oxydante et affinante de courants d'air à très-haute pression, qui la traversent en entrant par de nombreuses ouvertures pratiquées au bas de la cornue. Ce vent violent est produit par une machine soufflante d'une très-grande puissance, en proportion avec les dimensions du convertisseur et avec la quantité du métal en fusion qu'il peut contenir.

L'oxygène de l'air, réagissant sur la fonte, oxyde le silicium, qui passe à l'état d'acide silicique, le carbone qui se transforme en oxyde de carbone, en même temps qu'une certaine quantité de fer se convertit en oxyde de fer. Ces combustions produisent une température excessivement élevée sans l'emploi de combustible proprement dit. On arrête quelquefois l'opération, lorsque la décarburation est arrivée au point désiré, mais plus souvent on dépasse ce point et l'on rend au métal liquide, en y dissolvant une certaine quantité de fonte miroitante (spiegeleisen), le carbone nécessaire pour la qualité d'acier qu'on veut produire. C'est d'après la couleur de la flamme qui s'échappe de la cornue, qu'on juge si l'affinage de la fonte est terminé, et, comme nous venons de le dire, cela a lieu au bout de quelques minutes. Après l'incorporation de la fonte miroitante, on fait pivoter la cornue et on coule le métal dans une ou plusieurs lingotières, selon les dimensions

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des aciers qu'on veut produire et étirer ensuite par le laminage ou le martelage.

Les fontes qu'on coule dans la cornue peuvent être prises directement du haut fourneau, ou bien elles sont refondues dans un cubilot, un four à réverbère, ou dans tout autre four à fusion. Mais nous croyons le cubilot le plus économique.

D'après ce court exposé on peut voir que les aciers *naturels cémentés* et *puddlés* sont produits presque constamment à l'état pâteux, tandis que les aciers fondus et les aciers Bessemer sont obtenus à l'état liquide. Les premiers sont, par conséquent, moins homogènes et d'une qualité plus inégale que les seconds; ces derniers étant produits à l'état liquide, le mélange des molécules est plus intime et plus parfait. Par contre les aciers naturels, cémentés et puddlés, surtout les aciers naturels, sont généralement plus nerveux et plus fibreux que les aciers fondus; nous disons *généralement*, parce que les aciers cémentés, fortement carburés, sont quelquefois aussi cassants que les aciers fondus tandis que des aciers fondus Bessemer peuvent être très-nerveux.

Nous expliquerons plus loin les conséquences importantes de ces différences dans la constitution des divers aciers, parce qu'elles ne sont pas encore assez bien appréciées et qu'elles peuvent donner lieu à des fautes ou à des erreurs souvent très-préjudiciables. Il est encore à remarquer que ce qui caractérise principalement la fabrication des *aciers puddlés* et *Bessemer*, c'est que les deux espèces sont produites entièrement à la houille, au lieu de l'être en partie au charbon de bois, comme l'étaient et comme le sont encore *les aciers naturels, cémentés* et *fondus*. Il en résulte une économie considérable de combustible. En outre, les aciers puddlés et les aciers Bessemer se produisent par grandes masses à la fois, tandis que les aciers naturels et fondus se forment par petites quantités; car ce n'est que depuis une dixaine d'années que M. Krupp fabrique de très-grosses pièces en acier

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fondu au creuset. Mais quelle colossale installation et quel puissant matériel ne lui a-t-il pas fallu pour couler, avec des creusets contenant de 25 à 30 kilogrammes, un lingot du poids énorme de 40,000 kilogrammes. Avec 4 convertisseurs Bessemer, chacun de 10 tonnes, la même opération se serait faite infiniment plus vite et sans consommation de combustible proprement dit. Voilà de grands, d'énormes progrès, que nous sommes vraiment heureux de pouvoir signaler dans la production des aciers. Déjà, en 1851, à l'Exposition de Londres, l'un de mes amis me demanda, ce que j'y avais trouvé de plus remarquable. Je me retournai et, lui indiquant quelques petits morceaux de métal éparpillés sur une planche placée dans un coin obscur, je lui dis : « Ce qu'il y a de plus remarquable ici, ce sont ces quelques morceaux d'acier puddlé. En effet, seulement peu de temps auparavant, en 1850, MM. *Lehrkind* et *Flalkenroth* à Haspe, et M. *Huth*, à Hagen, en Westphalie, avaient réussi à produire de bons aciers par le puddlage. Dès l'année 1839 on avait déjà essayé de puddler des aciers dans plusieurs usines et à différentes reprises, mais sans succès. Ce sont donc, en réalité, ces deux fabricants. Lehrkind et Huth, qui, les premiers, ont réalisé au point de vue manufacturier le problème, de faire un bon acier naturel *au moyen de la houille*.

Le résultat de cette invention a été immense : d'un côté elle a évité à la fabrication des aciers naturels des conditions de production désastreuses, par suite du continuel renchérissement des charbons de bois ; et de l'autre, elle nous a permis de produire les aciers naturels à bien meilleur marché et en bien plus grande quantité qu'auparavant. Mais le bénéfice de cette invention n'a pas été pour les aciers naturels seuls ; il s'est aussi étendu à la fabrication des aciers fondus, qui, trouvant dans l'acier puddlé une matière première à meilleur marché que le fer cémenté, a pu livrer ses produits à plus bas prix. Aussi la fabrication de l'acier fondu, au lieu de dépérir, est-elle parvenue au contraire à se développer considérablement. Nous sommes persuadés que si cette fabrication

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

n'a pas périclité en France, mais y a pris, depuis les traités de commerce, une plus grande extension, nous en sommes redevables principalement à l'introduction de la fabrication des aciers puddlés. Car nos minerais du Dauphiné, de la Savoie et des Pyrénées, par leur qualité et leur prix de revient, conviennent mieux pour la fabrication de l'acier puddlé que pour celle des fers à acier. En ajoutant maintenant à l'invention de l'acier puddlé celle de l'acier Bessemer, il nous sera très-facile de constater que ces deux perfectionnements peuvent compter parmi les plus importants de notre siècle.

Ce qui se fabrique déjà aujourd'hui d'acier Bessemer en France, en Angleterre, en Suède, en Allemagne, en Autriche, en Italie, aux États-Unis, etc., etc., est prodigieux; et cette production ne peut manquer de se développer encore considérablement, même au détriment de la fabrication des fers. C'est ainsi qu'on livre déjà aujourd'hui des rails en acier fondu au prix de 35 francs les 100 kilogrammes; tout récemment on est même parvenu, en coulant les fontes directement du haut fourneau dans les convertisseurs Bessemer, à produire des rails en acier fondu au prix de 31 fr. 50. A la vérité le prix des rails en fer est descendu jusqu'à 20, 18 et même à 15 francs les 100 kilogrammes. Mais lorsqu'on considère que les rails en acier dureront au moins 20 fois plus longtemps que les rails en fer, et que sur les voies peu fatiguées les rails d'acier auront une durée indéfinie, il ne peut plus y avoir de doute qu'à l'avenir les chemins de fer ne deviennent des *chemins d'acier*. En effet, sur ceux déjà établis, l'on substituera peu à peu les rails d'acier à ceux en fer et les nouvelles voies ferrées ne seront plus construites qu'en rails d'acier.

Cette plus longue durée des rails en acier et le remplacement du fer par l'acier, pour bien d'autres objets faisant partie du matériel des chemins de fer, auront des conséquences incalculables. Il est certain que la résistance plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grande que présente l'acier permettra l'emploi d'un matériel roulant plus lourd et celui-ci nous mettra à même d'imprimer une plus grande vitesse à la marche des trains. Les frais d'entretien de la voie et du matériel deviendront bien moindres. Nous avons donc lieu de croire que notre prédiction se réalisera plus tôt que nous ne le pensions d'abord.

En effet, le 15 avril 1860, dans une audience que S. M. l'Empereur Napoléon III a daigné nous accorder, nous avons eu l'honneur de lui dire: Qu'avant un demi-siècle, l'on parviendrait à produire l'acier au même prix que le bon fer; qu'on décuplerait par l'emploi de l'acier la durée des chemins de fer qui pourraient alors transporter les marchandises à meilleur marché que ne sauraient le faire les canaux, même construits aux frais de l'État. Certes, on ne peut plus douter aujourd'hui que cet avantage ne se réalise à une époque très-prochaine. Nous reviendrons d'ailleurs sur cette question, lorsque nous traiterons celle de la qualité des aciers.

§ 2. — Procédé Martin, Bérard, etc.

Après avoir décrit les cinq grandes espèces d'aciers, dont la production manufacturière est parfaitement constatée et établie, nous aurions encore à parler d'une sixième catégorie qui, en opposition à ce qui s'observe actuellement pour le procédé Bessemer, tendrait à multiplier la fabrication des aciers fondus. C'est le procédé de M. Pierre Martin (1), qui consiste à décarburer la fonte sur la sole d'un four à réverbère, chauffé au gaz, à la plus haute température pratique. Par ce procédé, M. Martin prétend produire toutes les qualités supérieures d'acier fondu, même celles qui, jusqu'à présent, n'ont été obtenues que par la fabrication au creuset;

(1) M. Pierre Martin a cédé son brevet à M. Verdié, fabricant d'acier à Firminy, qui a établi depuis plusieurs mois un four et y produit régulièrement des aciers fondus avec les fontes de l'Algérie. Nous croyons qu'il construit en ce moment un second four.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et de plus il peut produire dans le même four à réverbère, naturellement en employant des matières premières différentes, le métal homogène, c'est-à-dire, un fer très-pur et très-nerveux qui n'a encore été fabriqué qu'en Angleterre et à des prix très-élevés.

Ainsi, selon le choix des matières premières, c'est-à-dire, en prenant des fontes à propension plus ou moins acièreuse, de l'acier puddlé, du fer, des riblons, du minerai ou de l'oxyde de fer, M. Martin produirait à volonté de l'acier fondu ou du fer homogène dans le même four.

Lorsque la décarburation paraît être arrivée au point voulu, on prélève sur la masse des échantillons dont on constate rapidement la qualité, et selon le résultat observé, on ajoute des matières carburantes ou décarburantes, et ensuite on coule la masse liquide dans une ou plusieurs lingotières. A la vérité, ce procédé nouveau ne possède point encore la consécration manufacturière dont jouit le procédé Bessemer; mais les échantillons que nous avons eus entre les mains et que nous avons fait essayer, ont présenté les qualités de très-bons aciers fondus, même supérieurs aux aciers Bessemer, que nous avons été à même d'expérimenter jusqu'à présent.

Si les bons résultats de ces essais se confirmaient, il y aurait tout lieu de croire que, par ce moyen, l'on arriverait à produire de l'acier fondu à aussi bon marché au moins que par le procédé Bessemer; et de plus il est certain que l'installation pour produire cet acier coûterait infiniment moins et permettrait ainsi plus facilement l'établissement d'une nombreuse concurrence.

M. Bérard, de son côté, a imaginé un procédé de fabrication de l'acier fondu, au moyen de l'affinage de la fonte liquide, qu'il fait traverser par le vent d'une puissante soufflerie. Ce procédé est à l'essai aux forges de Montataire, mais il ne semble offrir jusqu'à présent aucun avantage sur celui de Bessemer.

Nous citerons encore ici, pour mémoire, les nombreux essais

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

faits en Angleterre, de même que sur le continent, en vue de l'amélioration des aciers par l'introduction du Titane et du Tungstène (Wolfram) dans leur composition. Ces aciers titanifères et wolframifères avaient fait grand bruit pendant quelque temps. On avait même essayé la fabrication de l'acier avec les sables titanifères de Tavanaké, dans la nouvelle Zélande et du rivage d'Italie près de Castellamare. Mais les résultats définitifs n'ont point répondu aux espérances qu'on en avait d'abord conçues. Il est vrai qu'on avait obtenu d'excellents aciers, mais revenant beaucoup trop cher ; d'ailleurs il est probable que la bonne qualité de ces aciers provenait moins de la présence du Titane ou du Tungstène, que des nombreuses refontes et manipulations qu'on leur faisait subir et qui en avaient augmenté la pureté et l'homogénéité.

§ 3. — Comparaison des divers aciers connus.

Dans ce qui précède nous croyons avoir défini assez nettement le caractère et la nature des diverses espèces d'aciers et nous espérons que tous les lecteurs, même ceux qui sont peu au courant de cette fabrication, comprendront maintenant très-bien les considérations générales que nous avons encore à présenter sur cette importante industrie.

Si la fabrication des aciers est restée longtemps stationnaire et n'a pas pris plus tôt une grande extension, c'est qu'elle suffisait pleinement à tous les besoins de la consommation, tant sous le rapport de la qualité, que sous celui de la quantité. Les aciers, jusque dans les derniers temps, ne s'employaient guère qu'à la fabrication de petits objets, tels que faux, scies, ressorts, limes, burins, outils, instruments, couteaux, ciseaux, rasoirs, hâches, outils aratoires, sabres, baïonnettes, cuirasses, etc., etc.; et les aciers qu'on produisait convenaient parfaitement à cette fabrication. Avant 1740, tous ces objets se fabriquaient en acier naturel et cet acier, par sa nature même, étant peu propre à produire des outils d'un tranchant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fin, exigeant une grande dureté et homogénéité, il en résultait que ces outils étaient bien inférieurs en qualité à ceux fabriqués aujourd'hui et pour lesquels nous employons les aciers fondus, dont l'invention remonte à 1740.

Benjamin Huntsman, est l'inventeur de ce précieux métal, dont la valeur, par suite de ses nombreuses et importantes applications, est bien supérieure à celle de toutes les mines d'or, d'argent et de pierreries du monde entier. C'est à cet acier que l'Angleterre doit la réputation séculaire de sa coutellerie, de ses instruments de chirurgie, de ses outils, etc.; car il n'y a guère plus de trente ans que l'emploi de l'acier fondu s'est répandu sur le continent. Mais c'est un allemand, Krupp, à Essen, qui le premier a réussi à produire en acier fondu des pièces de fortes dimensions (cylindres de laminoir), qui se laissent tremper sans casser ou se criquer (1). C'est encore lui le premier qui a coulé des blocs d'acier fondu, d'un poids énorme, qu'on transforme ensuite pour pièces de machines, canons, etc. Cependant, ce qui a le plus contribué au développement de la fabrication des aciers, c'est la création des chemins de fer. Par la grande consommation que ces chemins faisaient du fer et de l'acier, on reconnut la nécessité de mieux étudier la fabrication de ces deux métaux; la science est venue en aide à la pratique, et peu à peu l'on est parvenu à obtenir les magnifiques résultats que nous avons déjà énumérés et qui seront certainement encore suivis de bien d'autres.

Pour faciliter la recherche de ces perfectionnements et de ces améliorations, nous indiquerons ici quelques faits et observations se rapportant à la nature et au travail des aciers; ces faits ont été constatés par l'expérience et la pratique, et ils ne seront peut-être pas tout à fait sans valeur pour celui qui veut sérieusement étudier ce métal. Nous avons souvent entendu dire: « Cet acier est le meilleur de tous! »; c'est une

1) Et nous croyons qu'il est, encore aujourd'hui, le seul à produire ces gros cylindres trempés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

erreur; car tel acier peut être le meilleur pour fabriquer un outil spécial et être très-mauvais pour en faire un autre, même d'une qualité inférieure au précédent. C'est ainsi que la fabrication d'objets recevant une trempe dure, comme par exemple les limes, exige un acier d'une qualité différente de celui employé à la fabrication des outils tranchants qui reçoivent un léger recuit; et il faut encore une toute autre qualité d'acier pour les objets qui reçoivent une trempe douce et un fort recuit, comme les faux, les scies, les ressorts, etc. (1).

Pour bien des objets on n'a pas seulement à considérer l'effet de la trempe et du recuit, mais il faut encore tenir compte des nécessités de la fabrication, c'est-à-dire du travail à chaud et à froid que réclame la production de ces objets. C'est ainsi qu'on emploie un acier fondu des meilleurs, mais aussi des plus chers, pour fabriquer les ressorts minces pour montre; mais, si l'on utilisait la même qualité pour faire un ressort plus épais, ce ressort se casserait en l'enroulant, parce qu'il n'aurait pas été soumis à autant de recuits ou à une aussi forte décarburation que le ressort mince. Ajoutons encore que souvent, tel acier conviendrait parfaitement à la confection d'un certain objet, mais on ne peut l'employer à cause de son prix trop élevé; on cherche alors à produire un acier moins coûteux, en employant des matières premières inférieures, mais possédant cependant encore assez de qualité pour donner un acier propre à la fabrication de cet objet.

A la vérité, on fabrique très-souvent, avec des aciers communs, des outils exigeant une excellente qualité, soit pour pouvoir les vendre à meilleur marché, soit parce que les

(1) Nous n'avons qu'à rappeler que le tranchant de la faux doit se laisser amincir à froid et à coups de marteau, que les dents d'une scie doivent se laisser plier à droite et à gauche pour faciliter son passage à travers le bois, que le ressort doit présenter assez d'élasticité et de ténacité pour se laisser enrouler sur lui-même sans casser, et pour se détendre ensuite de nouveau très-énergiquement et complétement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

consommateurs ne sont pas toujours bien à même d'apprécier la différence qui existe dans la qualité de ces outils.

C'est ainsi que les rasoirs, qui exigent l'emploi des meilleurs aciers fondus, se fabriquent souvent avec des aciers fondus ordinaires ou avec des aciers corroyés; cependant, si l'on pouvait les comparer, on remarquerait bientôt que ceux faits de bons aciers fondus ont le tranchant bien plus fin et beaucoup plus durable. Mais on fabrique encore des rasoirs en acier brut, même en fonte et en fer, qu'on exporte en assez grande quantité, quoique les malheureux qui sont obligés de s'en servir soient bien à plaindre.

Il en est de même des aiguilles : les bonnes aiguilles se fabriquent avec les meilleurs fils d'acier fondu; les mauvaises se font en fil d'acier corroyé ou bien en fil de fer et sont trempées au paquet. A la vérité, on vend beaucoup plus des premières que des secondes, mais la production des aiguilles en fer est encore assez considérable en Prusse et en Angleterre.

Du reste, il en est un peu des produits fabriqués comme des aliments et des boissons : celui qui est habitué à des mets ou à des vins ordinaires, les préférera souvent à ceux d'une qualité supérieure, soit par goût, soit parce qu'il les paye moins cher.

Par ce qui précède, on comprendra facilement qu'il doit exister aujourd'hui une énorme quantité d'aciers de qualités et de prix très-différents. En effet, il y a tant de qualités diverses d'acier, qu'on a de la peine à s'y reconnaître, et il serait temps, pour les fabricants d'acier, de chercher à simplifier leur fabrication, puisque cela leur permettrait de produire chaque qualité avec une plus grande régularité.

Nous pensons que l'invention de l'acier puddlé et celle de l'acier Bessemer qui, pour le moment, ont encore augmenté la confusion provenant des nombreuses qualités différentes d'acier, nous aideront forcément à supprimer les qualités inutiles et à réduire dans une forte proportion l'assortiment considérable des diverses espèces d'acier existant aujourd'hui.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En comparant les frais de fabrication de l'acier naturel, produit au moyen de la houille, avec ceux de l'ancienne fabrication au moyen du charbon de bois, on trouve que la tonne du premier acier revient à environ 200 francs meilleur marché que la tonne du second. Nous sommes autorisés à conclure de ce fait que la production de l'acier brut au bois doit s'éteindre peu à peu, au moins dans les contrées où il y a de la houille convenable. Notre conclusion est d'autant plus légitime, que les aciers puddlés sont plus homogènes et peuvent être employés pour la fabrication de beaucoup d'objets, à l'état d'aciers bruts, c'est-à-dire, non raffinés. Les aciers naturels bruts, faits au charbon de bois, sont au contraire bien moins homogènes, plus sauvages, et ne peuvent s'employer avec succès qu'après avoir été raffinés (1). Un autre avantage des aciers puddlés consiste dans leur production plus rapide, c'est-à-dire que, avec le même nombre d'ouvriers, on peut produire, dans le même espace de temps, dix fois plus d'acier puddlé que d'acier naturel au charbon de bois.

La production de l'*acier cémenté*, de même que celle des aciers naturels au charbon de bois, a également déjà subi une forte diminution, par suite de l'emploi, de jour en jour plus considérable, des aciers puddlés pour la fabrication des aciers fondus. Il est même probable que la production des aciers cémentés se réduira à la cémentation des fers à acier de qualité supérieure de la Suède et de la Russie, qu'une expérience séculaire a fait reconnaître comme les meilleurs pour la production au creuset d'un acier fondu à la fois très-homogène, très-dur et très-nerveux. Mais comme les aciers possédant ces propriétés ne peuvent se produire qu'à des prix très-élevés, leur consommation est limitée à la fabrication d'objets exigeant beaucoup de qualités et une grande régularité de production. Quant aux aciers fondus au creuset, les autres

(1) Il faut remarquer cependant que les aciers bruts naturels au bois, lorsqu'ils sont raffinés, ont généralement beaucoup plus de corps et de qualité que les aciers puddlés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

procédés ne leur ont guère fait de tort jusqu'à ce jour. Parmi les produits fabriqués entièrement avec des aciers de cémentation ou fondus au creuset, nous ne connaissons que les ressorts de voitures et de wagons de chemins de fer qui soient faits aujourd'hui en quantité avec de l'acier puddlé et de l'acier Bessemer. On en fabrique cependant encore beaucoup en acier fondu au creuset.

La fabrication des tôles en acier Bessemer, par ses prix plus modérés, est appelée à un développement considérable. Il est certain qu'en baissant encore un peu plus les prix des tôles en Bessemer, celles-ci, qui sont plus lisses et, dans bien des cas, plus solides et plus durables que les tôles de fer, remplaceront ces dernières dans une foule d'applications. Il ne faut point perdre de vue que l'acier résiste beaucoup plus que le fer aux intempéries de l'air et même que, lorsque la rouille s'y met, elle y progresse beaucoup plus lentement et y opère son œuvre de destruction bien moins rapidement que cela n'a lieu pour le fer.

Pour ce qui concerne l'influence que l'introduction des aciers puddlés et Bessemer a pu exercer sur l'industrie métallurgique, on peut dire que, jusqu'à ce jour, l'acier puddlé n'a fait du tort qu'à la fabrication des aciers naturels au bois et aux fers cémentés ; que l'acier Bessemer n'a causé jusqu'à présent qu'un préjudice insignifiant à la fabrication des aciers fondus au creuset et à celle des aciers puddlés ; mais que, par contre, cet acier tend de plus en plus, dans la plupart des pays, à se substituer à d'autres métaux et surtout au fer dans une multitude de circonstances. C'est ainsi qu'on cherche en France, en Angleterre, etc., à remplacer le bronze par l'acier Bessemer dans la fabrication des canons; cependant M. Krupp, qui avait pris l'initiative de l'emploi de l'acier fondu pour les canons, persiste encore à les couler au creuset, en concurrence avec l'acier Bessemer. Les canons de fusil, qui se fabriquaient auparavant en fer, se font aujourd'hui en acier Bessemer, qui paraît parfaitement approprié à cet usage ; cependant, on en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fabrique encore d'assez grandes quantités en acier fondu au creuset.

Mais ce que les fabricants d'acier Bessemer recherchent le plus, et avec raison, ce sont les objets de grande consommation, les fournitures pour les compagnies de chemins de fer, tels que ressorts, bandages, essieux; les pièces pour machines, les tôles pour chaudières; les fournitures pour la marine et l'armée, telles que les grandes tôles, les canons, les boulets, etc., etc. Une autre application de l'acier Bessemer, qui est de la plus grande importance, c'est la substitution des rails d'acier aux rails en fer, dont nous avons déjà dit deux mots.

D'essais comparatifs poursuivis sur une ligne de chemin de fer anglais et sur un des points les plus fatigués de cette ligne, à la station de Campden-Town, où sont la gare des marchandises et les bureaux de distribution des billets de voyageurs de Londres et du Nord-Ouest (essais dont les résultats sont conformes à ceux obtenus sur d'autres voies ferrées), il ressort positivement que les rails en acier durent vingt-quatre fois plus longtemps que les meilleurs rails en fer. Même si l'on n'admettait pour le rail en acier qu'une durée douze fois (au lieu de vingt-quatre) plus longue, il en résulterait déjà une diminution dans les frais d'entretien de la voie, de 2,000 francs par an et par kilomètre (1).

La supériorité des rails en acier est donc incontestable; mais ce qui serait également très-intéressant à connaître,

(1) Le général Morin a fait des réflexions très-judicieuses sur ces essais, dont nous citerons les suivantes :

« La durée moyenne d'un rail ordinaire à double champignon en fer sur lequel « passent 8,000 trucks et 400 locomotives par vingt-quatre heures, est donc pour « chaque face de soixante-dix jours (suivant un tableau annexé au procès-verbal « des essais), tandis que le rail d'acier Bessemer, posé le même jour (2 mai 1862) « et qui n'a pas été retourné, était encore le 4 mars 1867, c'est-à-dire après cinq « ans environ de service, en parfait état; la durée d'une des faces a ainsi été « supérieure à plus de vingt-quatre fois celle d'une table de rail en fer.

« Les trucks actuels chargés pèsent en moyenne au moins 10 tonnes et les « locomotives avec leurs tenders 50 tonnes; le poids qui avait passé par vingt- « quatre heures sur les rails comparés peut donc être estimé, pour 8,000 trucks

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

c'est la comparaison entre des rails Bessemer et des rails en acier fondu au creuset. Les compagnies de chemins de fer pourraient entreprendre très-facilement des essais de ce genre. On ferait fabriquer des rails en acier fondu au creuset et en acier Bessemer de trois différents degrés de dureté. L'un de ces types correspondrait au degré de dureté actuelle ; l'autre serait d'un degré plus dur, et le troisième resterait d'un degré en dessous de celui où l'on aurait à craindre la rupture des rails par la violence d'un choc. De pareilles expériences seraient très-utiles et très-instructives, à la fois, pour les compagnies et pour les fabricants d'acier. L'usure plus prompte des rails en fer paraît provenir bien moins de la différence de dureté qui existe entre le fer et l'acier, que de leur différence de texture. Le fer, n'étant travaillé qu'à l'état pâteux, ne présente jamais une adhérence complète entre ses fibres. Le soudage, quelque parfait qu'il soit, laisse toujours à désirer ; et, en tordant, pliant et repliant des barres de fer jusqu'à ce qu'elles se rompent, on remarque toujours des adhérences de molécules incomplètes et même des désoudages de fibres et de lamelles.

Le même défaut, quoique à un degré moindre, se remarque dans les aciers naturels et corroyés ; parce que ces aciers, comme le fer, sont façonnés à l'état pâteux. Dans l'acier fondu, qui s'achève à l'état liquide, l'adhérence des molécules est nécessairement complète et les défauts signalés ne se présentent pas. On peut tirer de ces expériences la conséquence certaine que ce n'est qu'à l'état liquide, qu'on peut obtenir une adhérence complète des fibres ou molécules du fer et de

« de 10 tonnes, à..... 80,000 tonnes.
« 400 locomotives avec tenders de 50 tonnes..... 20,000 »

Total..... 100,000 tonnes.

« Dans ces proportions de véhicules, la table d'une paire de rails en fer ne « résisterait donc qu'au passage de 7,000,000 de tonnes. On pourrait, d'après ces « données et à l'aide de la connaissance du trafic d'une voie de fer, obtenir « une appréciation approximative de la durée moyenne des rails de cette « voie. »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'acier ; et que celle obtenue par le soudage est toujours plus ou moins imparfaite.

Voilà pourquoi les rails en fer se détériorent moins par l'usure proprement dite que par l'exfoliation, les écaillures ou les désoudures produites par le frottement des roues sur les rails. Aussi retrouve-t-on presque toujours, dans les rails hors de service, les traces de la composition du paquet qui a servi à former le rail. Ce qui détériore encore un certain nombre de rails en fer, c'est l'aplatissement qui se produit quand le fer employé est trop mou ; et surtout lorsque deux rails consécutifs ne sont point posés parfaitement au même niveau. Cependant, dans ce cas, on remarque encore souvent que l'aplatissement coincide avec un commencement de désoudure.

Les aciers Bessemer qu'on fabrique aujourd'hui peuvent se classer en six espèces de dureté différente : 1° les rails ; 2° les boulets ; 3° les ressorts ; 4° les bandages ; 5° les canons ; 6° les tôles. Nous croyons que ces différentes espèces d'acier se produisent aujourd'hui, dans les établissements bien montés, avec une très-grande régularité, et que les qualités des divers aciers que nous venons de citer répondent généralement aux besoins de ceux qui les emploient. Aussi sommes-nous très-étonnés que les fabricants d'acier Bessemer ne se soient pas déjà appliqués à produire les qualités d'aciers convenables pour les outils aratoires et pour la grosse taillanderie. En le faisant, ils provoqueraient infailliblement la fabrication en acier pur de ces objets, que l'on fait actuellement aciérés ou même en pur fer, comme cela se pratique encore pour les pelles à terre, bêches, rateaux, houes, etc., etc.

Si cette fabrication spéciale n'a pas encore été réalisée à l'heure qu'il est, cela provient probablement de ce que les établissements produisant le Bessemer ne sont pas encore amenés par la concurrence à abaisser leurs prix, et qu'il y a des fabricants qui ne sont pas encore parvenus à obtenir par ce procédé une qualité régulière et satisfaisante. Nous sommes certains que les fabricants, en produisant des aciers en barres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et en tôles à bon marché pour cette destination, y trouveraient un débouché des plus considérables.

Depuis quelques années, les forges de fers dans tous les pays ont trop produit et se trouvent dans une situation peu avantageuse; il est donc très-probable que celles de ces forges qui sont dans une position favorable pour entreprendre la fabrication des aciers Bessemer ne tarderont pas à mettre en usage ce procédé et arriveront ainsi à gagner de l'argent au lieu d'en perdre. On ne peut douter que la transformation des rails ne doive marcher à grands pas, parce que l'avantage des rails en acier sur ceux en fer est tellement considérable, que toutes les compagnies dont la situation financière n'est pas trop obérée entreprendront cette substitution au fur et à mesure que les rails en fer seront hors d'usage. Il est encore très-probable que, pour bien des constructions, on accordera la préférence à l'acier sur le fer, si les prix le comportent. Il est en outre certain que le procédé Bessemer favorisera considérablement, par ses prix de revient plus modérés, la production des objets en acier fondu moulé ; car la résistance et la durée des objets coulés en acier fondu sont incomparablement plus grandes que celles de la fonte de fer. A cette occasion, nous ne pouvons nous empêcher de citer ici les magnifiques spécimens de ce genre que Bochum avait exposés au Champ de Mars, et sur lesquels nous reviendrons, lorsque nous parlerons spécialement de la Prusse. Toutes les raisons que nous venons d'énumérer, comme contribuant au développement de la production des aciers Bessemer et à la prospérité de ceux qui se livrent à cette fabrication, doivent, par contre, réagir d'une manière fâcheuse sur l'industrie des fers, et tendre, dans une certaine mesure, à l'amoindrir.

Connaissant suffisamment ces deux industries et leur portant un intérêt égal, nous terminerons ces considérations par un exposé succinct de notre opinion personnelle concernant l'avenir de l'une et de l'autre. Car lorsqu'une opinion est nettement et sincèrement exprimée, chacun peut en apprécier

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la valeur, la réfuter ou en tirer profit, s'il y a lieu. Nous sommes convaincus qu'en exceptant l'invention de la fabrication des fers à la houille, l'industrie des fers et des aciers n'a jamais été soumise à une transformation aussi considérable que celle que lui fera subir la production de l'acier puddlé et de l'acier Bessemer.

L'effet de cette transformation est d'autant plus sensible et d'autant plus important, que l'industrie des fers, de petite qu'elle était lors de la substitution de la houille au charbon de bois, est devenue très-grande, et qu'aujourd'hui son développement est vraiment gigantesque. Il est donc certain que bien des intérêts seront compromis et que beaucoup de situations, jusqu'à présent bonnes, même excellentes, ne le seront plus, par suite du développement que ces nouveaux procédés de fabrication ont pris et prendront encore.

Nous croyons donc que ce qu'il y a de mieux à faire, c'est d'envisager avec sang-froid et intelligence la situation dans laquelle chacun se trouve. Les forges de fers situées à proximité à la fois des houillères et des gîtes de minerais propres à la fabrication des aciers puddlés et Bessemer, n'ont pas à s'inquiéter de la substitution des aciers au fer ; car il leur suffit d'ajouter les nouveaux procédés aux anciens pour profiter de tous les avantages que présentent les deux industries (fer et acier) réunies, et devenir ainsi grands fabricants d'acier en même temps que grands maîtres de forges. Quant aux forges de fer, se trouvant assez rapprochées des houillères, mais trop éloignées des minerais, ou *vice versa*, elles devront faire à temps des démarches pour obtenir des chemins de fer déjà établis des conditions de transport assez favorables pour qu'elles puissent soutenir la concurrence. Les compagnies de chemins de fer ne s'y refuseront certainement pas ; car elles ont souvent intérêt à effectuer des transports à meilleur marché à une distance de 200 lieues, qu'à une distance de 100 lieues, surtout lorsqu'il s'agit de quantités aussi considérables de matières brutes. L'économie qui résultera pour ces

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

compagnies du seul fait du remplacement des rails de fer par des rails d'acier et de l'emploi plus fréquent et plus avantageux de ce métal, sera d'ailleurs déjà assez importante pour justifier des transports à prix réduits, en faveur d'une forge qui contribuera à sa réalisation.

Le gouvernement, qui a témoigné tant de sollicitude pour les transports à bon marché, appuiera certainement de sa haute influence ces démarches des maîtres de forges; et, ayant accordé lui-même à plusieurs compagnies de chemin de fer la garantie d'un minimum d'intérêt, il n'y a pas de doute que son concours ne soit extrêmement utile dans une pareille circonstance.

Nous ne pouvons assez le répéter, le bas prix du transport du combustible et des minerais est pour les forges de fer, placées dans les conditions citées, une question de vie ou de mort. Par la même raison, nous pensons que les forges de fer, situées à la fois loin des houillères et loin des minerais, c'est-à-dire dans des conditions désavantageuses sous ces deux rapports, sont appelées à disparaître graduellement, à moins d'être assez heureuses pour pouvoir s'adonner à certaines fabrications toutes spéciales, dans lesquelles le bas prix de la main-d'œuvre et l'habileté de l'ouvrier jouent un rôle beaucoup plus important que le bas prix de la matière première. On nous répondra peut-être que nos prévisions ne sont pas justes et que nous nous exagérons l'influence que les deux inventions dont il a été parlé, sont appelées à exercer dans un avenir plus ou moins éloigné, sur l'industrie métallurgique.

Nous ne le pensons pas, et voici nos raisons : le procédé Bessemer se pratique depuis assez longtemps et sur une assez grande échelle pour qu'on puisse l'apprécier à sa juste valeur. Il permet de produire à volonté des aciers fondus, durs et doux, avec une grande régularité; nous avons déjà indiqué 6 degrés de duretés différentes, appliqués à la fabrication d'objets d'une grande consommation et qui satisfont pleine-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment ceux qui les emploient, savoir : rails, boulets, ressorts, bandages, canons et tôles. Ce sont là des résultats et des faits incontestables ; et il y a même des fabricants qui prétendent être plus sûrs de la production de l'acier fondu Bessemer, que de celui fondu au creuset. Cette opinion, par des raisons que nous indiquerons plus loin, n'est pas la nôtre ; mais pour les aciers fondus d'une qualité ordinaire, nous ne trouvons théoriquement rien à objecter à cette assertion.

S'il y a, aujourd'hui encore, des forges qui produisent des aciers Bessemer d'une qualité défectueuse ou irrégulière, la faute n'en est pas au procédé, qui scientifiquement et théoriquement est parfaitement rationnel ; mais cela provient soit de l'emploi de mauvais minerais ou de mauvaises fontes, soit d'inexpérience et de défaut de soins dans la fabrication. Ce qui, en effet, a le plus mis obstacle jusqu'à ce jour à ce que la production de l'acier Bessemer prît un essor plus vigoureux et une importance plus considérable, c'est : 1° notre défaut de connaissance et notre inexpérience dans la manipulation tant des minerais que des fontes propres à cette fabrication ; 2° la cherté de l'installation et le manque d'ouvriers et de contre-maîtres habitués à manier et à faire fonctionner les appareils de manière à être certains des résultats ; 3° enfin les prix relativement encore trop élevés des aciers Bessemer.

Mais de jour en jour les maîtres de forges apprennent à mieux tirer parti de leurs minerais ; et les fabricants de coke le produisent de qualité supérieure avec les mêmes houilles qui antérieurement ne permettaient que la production d'un coke médiocre. Cela est tellement vrai qu'un assez grand nombre de forges et de hauts fourneaux, parviennent aujourd'hui à livrer au commerce des fontes et des fers bien supérieurs, sous tous les rapports, à ce qu'ils livraient il y a quelques années, bien qu'ils travaillent encore avec les mêmes matières premières. C'est ainsi qu'une importante forge de la Moselle est parvenue à produire dans un seul haut fourneau 45 tonnes en vingt-quatre heures, avec un minerai rendant à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peine 30 pour 100. Depuis 1857, elle a triplé sa production de fonte, tout en réduisant d'un tiers le nombre de ses hauts fourneaux et tout en améliorant considérablement la qualité de ses fers.

Les résultats déjà obtenus doivent engager à persévérer dans cette voie et à faire des efforts pour obtenir de nouvelles améliorations et réaliser de nouveaux progrès. Il ne nous paraît nullement impossible de produire des cokes tellement exempts de soufre et de phosphore (c'est-à-dire débarrassés de sulfures et de phosphates), qu'en y ajoutant encore un alcali (potasse ou soude) pour remplacer les cendres de bois, on puisse préparer un combustible remplaçant le charbon de bois, non-seulement sous tous les rapports, mais même avec avantage. Dans la préparation mécanique et chimique des minerais, il y aura sans doute encore à perfectionner les procédés ayant pour but l'élimination des matières nuisibles. Quant à la marche des hauts fourneaux, on étudiera toutes les conditions qui peuvent faire obtenir des fontes non-seulement entièrement pures, mais encore à forte propension aciéreuse; on essaiera l'influence de l'addition de substances purificatrices, telles que le sel marin, les oxydes et sels de manganèse, etc., etc., soit dans le gueulard, soit insufflées par les tuyères, de manière à faire passer dans les scories le reste des substances nuisibles.

Toutes ces améliorations permettront d'obtenir, même avec nos minerais indigènes, des fontes propres à la conversion en acier par le procédé Bessemer. Il y a évidemment encore beaucoup à faire dans cette direction. Avec ces perfectionnements et avec la création et la mise en pratique de nouveaux appareils Bessemer, non-seulement la production de l'acier deviendra beaucoup plus abondante, mais la concurrence amènera aussi une baisse de prix qui déterminera à son tour une consommation de plus en plus considérable de cet acier. Il suffira d'ailleurs de donner quelques détails sur les prix de revient de l'acier, d'après les anciennes méthodes de fabrica-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion, comparativement au puddlage et au procédé Bessemer, pour reconnaître immédiatement combien ces derniers procédés sont plus économiques et combien ils permettent de mettre à la disposition de l'industrie et du commerce des aciers à très-bon marché.

§ 4. — Frais de fabrication.

Pour faire une tonne *acier brut naturel* au charbon de bois, il faut 1,500 kilogrammes de fonte (dont 440 kilogrammes de ferraille), 2,000 à 2,500 kilogrammes de charbon de bois, qui représentent une valeur égale à 12,000 kilogrammes de houille.

Un feu desservi par trois ouvriers peut produire annuellement de 50 à 55,000 kilogrammes d'acier brut.

Pour fabriquer une tonne *acier puddlé*, il ne faut que 1,100 kilogrammes de fonte et 1,300 kilogrammes de houille.

Trois ouvriers à un four produisent annuellement 500,000 kilogrammes d'acier puddlé.

Pour faire une tonne *acier fondu au creuset*, il faut : 1,010 kilogrammes d'acier puddlé (représentant 1,100 kilogrammes de fonte); 7,000 kilogrammes de houille (en Angleterre seulement 6,200 kilogrammes) (1).

En prenant de l'acier cémenté au lieu d'acier puddlé, l'acier fondu revient beaucoup plus cher, à cause des prix élevés des fers à acier. D'après M. Le Play, l'acier cémenté revenait en Angleterre à 48 francs. En France, il coûtait 50 francs, qualité ordinaire.

Pour produire une tonne *acier fondu* Bessemer, il faut : 1,200 kilogrammes de fonte et 1,600 kilogrammes de houille (2) pour la fusion, machine soufflante, chauffage préalable des convertisseurs et de la poche, etc., etc.

(1) Par suite de la qualité supérieure des houilles anglaises.

(2) Nous avons des renseignements qui n'indiquent qu'une consommation de houille de 1,200 kilogrammes; c'est-à-dire qu'il leur faut juste autant de houille que de fonte.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Production annuelle (15 ouvriers), 7,200,000 kilogrammes, dont la main-d'œuvre peut s'élever à 13 francs par tonne.

En comparant maintenant la production des aciers naturels au bois avec celle des aciers puddlés, nous trouvons que, pour produire une tonne d'acier, le premier procédé exige 400 kilogrammes de fonte et 10,700 kilogrammes de houille de plus que le second. Et, en considérant que beaucoup d'aciers puddlés s'emploient en concurrence avec les anciens aciers corroyés, dont le corroyage exige encore 2,000 kilogrammes de houille et donne lieu à un déchet d'environ 20 pour 100, il en résulte, en définitive, que, pour produire une tonne de ces derniers aciers, il faut 1,600 kilogrammes de fonte et 12,700 kilogrammes de houille de plus que n'en exigerait la production d'une tonne d'acier puddlé. En outre, trois ouvriers affineurs ne produisent dans un feu que 55,000 kilogrammes d'acier par an ; tandis que trois ouvriers puddleurs en produisent dans un four 500,000 kilogrammes par an, soit dix fois autant. Aussi les aciers au bois reviennent à 450 francs et les aciers puddlés seulement à 250 francs la tonne et, dans certaines conditions, seulement à 200 francs.

La comparaison entre les aciers fondus et les aciers Bessemer se présente comme suit :

Pour produire une tonne acier fondu au creuset, il faut 1,000 kilogrammes d'acier puddlé qui reviennent, chiffre rond, à..	250 fr.
La fusion, main-d'œuvre, creusets, également à..	250
Soit 1,000 kilogrammes en lingots (1)...	500 fr.

Pour une usine qui produirait les aciers puddlés en même temps que les aciers fondus, et qui serait située à proximité d'une bonne houillère, ce prix de revient pourrait peut-être se réduire à 450 francs et même à 400 francs.

Pour produire une tonne d'acier fondu Bessemer, il faut, comme nous l'avons déjà dit, environ 1,200 kilogrammes de

(1) Il va sans dire que, dans ces chiffres, nous ne comprenons pas les frais généraux, intérêts, amortissement, administration, etc., etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fonte dont environ 80 à 90 kilogrammes de fonte *spiegeleisen* pouvant valoir ensemble..... 130 fr.

La consommation en houille, pour la fusion, la machine soufflante, le chauffage des convertisseurs et de la poche, etc., etc., à 1,600 kilogrammes, peut être estimée à..... 23

Main-d'œuvre, 12 à 15 francs..... 15

Entretien, frais, etc., etc..... 32

Soit 1,000 kilogrammes en lingots..... 200 fr.

L'acier fondu au creuset, fabriqué avec de l'acier puddlé, revient donc plus du double plus cher que l'acier fondu Bessemer. En employant les fers à acier cémentés, comme on le faisait exclusivement pour tous les aciers fondus avant l'invention du puddlage, la tonne d'acier fondu au creuset revenait à environ 700 francs, soit plus de trois fois le prix de l'acier Bessemer.

Par les chiffres que nous venons de donner sur les frais de fabrication des diverses espèces d'acier, nous croyons avoir suffisamment démontré les avantages considérables du puddlage et de la méthode Bessemer. On nous objectera peut-être que, si ces deux espèces d'acier reviennent à meilleur marché que les autres, c'est que ces aciers sont aussi d'une qualité inférieure.

§ 5. — Usages et propriétés des divers aciers.

Quant aux aciers puddlés, nous avons déjà expliqué que, sous bien des rapports, ils sont supérieurs en qualité aux aciers naturels fabriqués au moyen du charbon de bois et qu'il était même probable que, peu à peu, ce dernier mode de fabrication disparaîtrait complétement. Il ne s'agit donc plus pour nous que de discuter cette question : En quoi le procédé *Bessemer* peut-il être inférieur au procédé du *creuset*, pour produire les diverses qualités d'acier fondu que l'on consomme aujourd'hui. Nous avons sous les yeux plusieurs notes, rédigées par quelques maîtres de forges de divers pays, dans lesquelles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ils affirment qu'ils sont déjà arrivés à faire, par le procédé Bessemer, toutes les qualités d'acier fondu qu'on peut produire au creuset. Qu'ils nous permettent de ne pas encore partager complétement leur confiance, tout en désirant et espérant que l'idée qu'ils ont de la perfection de leur fabrication puisse se réaliser dans un avenir très-prochain.

Quant à nous, nous pensons que dans les circonstances et conditions actuelles et ordinaires de fabrication, les deux procédés, soit le Bessemer, soit la fusion au creuset, sont appelés à produire, chacun pour sa part, des aciers nécessaires pour des destinations spéciales. Au procédé Bessemer appartient légitimement la fourniture d'aciers de qualité ordinaire, destinés à être employés en masses, sans qu'il soit besoin de les tremper, ou pour lesquels la trempe ne doit produire d'autre effet que de leur communiquer un certain degré de dureté et d'élasticité. A la fusion au creuset, au contraire, on demandera les aciers fins, parfaitement homogènes, tenaces, auxquels la trempe ne communique pas seulement la dureté, mais encore certaines propriétés spéciales, telles qu'une grande résistance, beaucoup de mordant, de tranchant, qui sont nécessaires pour faire des outils et instruments de qualité supérieure.

Remarquons d'ailleurs, que pour les applications des aciers demandés au procédé Bessemer, il faut plutôt un acier un peu mou, ductile, assez nerveux, pas trop carburé, qu'un acier dur et fortement carburé, qui, naturellement, est plus cassant et possède moins de ténacité. Or, c'est l'essence même du procédé Bessemer de fournir des aciers faiblement ou, tout au plus, moyennement carburés. En effet, on y décarbure d'abord presque entièrement la fonte dans le convertisseur (cette décarburation à peu près intégrale est indispensable pour éliminer suffisamment le silicium, le manganèse et une certaine proportion des autres matières étrangères contenues dans les fontes), et l'on y ajoute, à la fin, une certaine quantité de fonte miroitante très-carburée, pour rendre au mélange

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

total la proportion de carbone nécessaire pour le constituer à l'état d'acier.

Dans la pratique, on emploie, sur 1,100 kilogrammes de fonte (qui par la réaction se réduisent à environ 1,000 kilogrammes de fonte décarburée), 85 kilogrammes de fonte miroitante renfermant 5 pour 100 de carbone au maximum : on y introduit donc seulement 42 gr. 0,5 de carbone sur 1,085 de fer, donc moins de 4 pour 100. Le résultat ne peut donc être qu'un acier peu carburé ou plutôt un fer très-aciéreux, d'ailleurs parfaitement convenable et approprié aux usages auxquels on le destine. A la vérité, on pourrait dire qu'on a qu'à augmenter la dose de fonte miroitante pour rendre le métal aussi carburé qu'on voudra.

Mais il y a une raison très-puissante qui empêche d'ajouter de la fonte au delà d'une certaine proportion. Toutes les fontes contiennent des matières étrangères, très-nuisibles aux qualités aciéreuses, et que l'appareil Bessemer est précisément chargé d'éliminer. S'il n'en était point ainsi, on aurait qu'à fondre ensemble du fer et de la fonte, pour faire de l'acier à très-bon marché. En ajoutant donc trop de fonte au métal décarburé de l'appareil, on y introduirait bien une plus forte dose de carbone, mais aussi, en proportion, une telle quantité d'impuretés, que le but de toute l'opération serait manqué. Ce ne serait tout au plus qu'avec des fontes d'une pureté tout à fait exceptionnelle, telles que certaines fontes de Suède, de Russie et d'Autriche, qu'on pourrait espérer d'obtenir des aciers, à la fois carburés et en même temps assez exempts de matières impures, pour pouvoir être classés parmi les aciers de qualité supérieure.

En France, en Angleterre, en Allemagne, de pareilles fontes n'existent pas ou sont infiniment rares ; et puisqu'il faut y opérer avec les fontes qu'on peut facilement se procurer, il ne faut pas non plus leur demander plus qu'elles ne peuvent fournir, dans les conditions de traitement qu'offre l'appareil Bessemer, où l'on ne peut qu'une seule fois, d'abord affiner la fonte par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

oxydation et puis la recarburer, après quoi il faut nécessairement couler. Il ne serait nullement impossible que, sous ce rapport, le procédé de M. Martin ne présentât quelques avantages sur l'appareil Bessemer. M. Martin, opérant dans un four à réverbère et d'une manière plus lente, est plus maître de sa matière et de ses réactions.

Après avoir décarburé et affiné sa fonte par des moyens décarburants et oxydants, il la carbure de nouveau par l'addition de fontes miroitantes. Mais ce que l'on ne peut faire qu'une seule fois avec l'appareil Bessemer, on peut le répéter à plusieurs reprises dans le four de M. Martin. On n'y coule qu'après avoir pris des éprouvettes et expérimenté la dureté de l'acier ; s'il n'est pas assez carburé, on ajoute encore de la fonte miroitante ; s'il l'est trop, on reprend l'affinage par oxydation, et ainsi alternativement. On conçoit que la possibilité de ne procéder au coulage de l'acier qu'après avoir obtenu le degré de carburation voulu, constaté par des éprouvettes prises successivement, est un très-grand avantage et contribue beaucoup à rendre, par ce procédé, la fabrication à la fois plus facile et plus certaine. Mais il y a encore une autre circonstance favorable : le four de M. Martin n'a pas à craindre autant les scories que l'appareil Bessemer ; on y retrouve un peu les conditions du four à puddler ; la fonte peut donc y être affinée non-seulement par un courant d'air, mais aussi par la réaction de scories affinantes ; il n'est donc nullement impossible que le procédé Martin permette d'utiliser des fontes plus ordinaires que celles qu'il est indispensable d'employer dans l'appareil Bessemer, sans que la qualité de l'acier produit en soit diminuée. S'il en était ainsi, ce serait là une condition favorable, d'une grande importance pour la France et les pays avoisinants.

Mais les conditions pour l'obtention d'un acier de qualité supérieure sont encore bien plus favorables pour la fusion au creuset. Là on peut choisir, classer, assortir les matériaux déjà purifiés qui, fondus ensemble, constitueront l'acier

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

désiré. On est donc maître de travailler avec des matières premières aussi pures que possibles; on peut préalablement les carburer, par la cémentation, aussi fortement que l'exige leur destination et sans qu'une impureté vienne s'y ajouter. On comprend donc que, en opérant sur le fer de Suède le plus pur, en le cémentant avec soin, en choisissant des morceaux (destinés au creuset) présentant une carburation égale, etc., etc., on puisse arriver à produire un acier qui soit le plus fin, le plus nerveux et en même temps le plus dur, et cela non par hasard et d'une manière irrégulière, mais d'une façon certaine et avec des résultats parfaitement constants.

Pour pouvoir nous prononcer en meilleure connaissance de cause et porter un jugement plus fondé sur cette importante question, nous avons fait nous-même des essais nombreux sur divers aciers Bessemer. Nous en avons fait forger et laminer des outils de différentes espèces, qui tous ont été trouvés très-inférieurs à ceux fabriqués avec un acier ordinaire fondu au creuset; même un certain nombre d'entre eux étaient impropres à tout usage. Nous avons en même temps soumis ces mêmes aciers Bessemer, comparativement avec les aciers fondus au creuset, aux divers essais par lesquels on a l'habitude de constater les qualités d'un acier. Ces essais ont aussi prouvé l'infériorité de l'acier Bessemer au point de vue de ce genre de fabrication. Certainement il ne peut nous venir à l'idée de considérer nos expériences comme décisives et propres à résoudre la question d'une manière absolue. De pareils essais ne peuvent être considérés que comme des indices qui demandent à être confirmés par une expérimentation plus prolongée. Il est, en effet, si difficile de bien essayer les aciers et de bien juger les divers degrés de qualité qui les distinguent, que ce n'est véritablement qu'une longue expérience dans leur emploi qui puisse nous fixer d'une manière certaine.

M. Le Play, dans son remarquable mémoire sur les fers à acier (Recueil des *Annales des Mines*, 1843, tomes I, II, III.),

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

travail qui sera toujours consulté avec fruit et cité avec autorité par les savants, tout aussi bien que par les praticiens, dit fort bien, page 602 et suivantes : « Que le point de « départ de toutes les études relatives aux qualités du fer à « acier doit être pris dans la comparaison des valeurs com- « merciales de ces fers. » Il ajoute : « Il s'en faut de beau- « coup, comme on le verra plus loin, que le prix marchand « soit un moyen absolu de classement pour chaque propriété « importante ; mais il forme, si l'on peut s'exprimer ainsi, la « commune mesure, la plus précise dont on puisse se servir « pour apprécier, dans les différents fers, l'ensemble des pro- « priétés utiles. » — Plus loin encore : « En remontant à « l'origine des fers classés sous ce rapport au rang le plus « élevé, j'ai constaté qu'ils proviennent tous d'un nombre « très-limité de gîtes de fer oxydulé. »

Il paraît, du reste, que ce mode de procéder, de la part de M. Le Play, était le plus rationnel et le plus juste ; car M. Rinman, un métallurgiste distingué de la Suède, dit, dans une toute récente brochure, page 7 (1) : « Sans vouloir prétendre « que la chimie ait pénétré toute la nature de la propension « aciéreuse, il est néanmoins remarquable de voir que la « quantité de phosphore range les minerais et naturellement « les fontes, etc., dans le même ordre que M. Le Play les a « rangés, en observant seulement les prix qu'ils obtiennent « sur les marchés anglais. Ce résultat fait croire du moins que « le phosphore joue un rôle bien important à cet égard. »

L'on voit, par ce qui précède, que c'est le long emploi des aciers qui en fait apprécier le mieux les différentes qualités, sur lesquelles se basent aussi leurs prix plus ou moins élevés. Ainsi qu'on le voit par l'extrait ci-dessus, les fers les plus chers et les meilleurs pour faire de l'acier, *proviennent tous d'un nombre très-limité de gîtes de fer oxydulé.* S'il en est ainsi pour les aciers fondus obtenus au creuset, je ne vois

(1) Fers et aciers de la Suède, par L. Rinman. — Versailles, imprimerie Cerf. Paris, 1867. 59, rue du Plessis.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pas pourquoi il n'en serait pas de même pour les aciers Bessemer.

Il est certain que jusqu'à présent la nature exacte de l'acier n'a pu encore être chimiquement déterminée; et lorsqu'on sait qu'il suffit d'ajouter à l'or, le métal le plus ductile que nous connaissions, un dix-millième d'arsenic, ou 1/2 pour 100 de phosphore pour le rendre cassant et intraitable, on appréciera la difficulté extrême qu'on éprouve à connaître intégralement la composition et la constitution de l'acier. Ce qui distingue l'acier du fer, c'est la trempe. Lorsque l'acier contient 1 1/2 pour 100 de carbone, il est trop dur pour être trempé, et lorsqu'il n'en renferme qu'un demi-centième il commence seulement à prendre la trempe. Aussi les aciers qui sont destinés à être trempés ne doivent pas contenir moins de quarante centièmes de carbone et pas au delà de 1,40 pour 100. On voit, par ces proportions, combien il faut peu de carbone pour changer la qualité de l'acier, puisque un demi-kilogramme de carbone sur 100 kilogrammes de fer suffit pour transformer le fer en acier. Mais l'acier n'est pas seulement composé de fer et de carbone, il contient aussi, à la vérité en petite quantité, du manganèse, du tungstène, du silicium, du titane, et parfois des traces de calcium, de magnésium, d'aluminium et de sodium. Il peut renfermer en outre des matières nuisibles, souvent très-difficiles à chasser, telles que le soufre, le phosphore et l'arsenic.

Les métallurgistes ne sont pas encore parvenus à se mettre d'accord pour expliquer le phénomène de la trempe; les uns l'attribuent au carbure de fer qui se trouve en dissolution dans le fer, et les autres au carbone. Il est difficile d'admettre qu'un corps aussi réfractaire que le carbone devienne subitement gazeux au contact du fer; mais, puisque le carbone est bien à l'état liquide dans l'acier en fusion, il paraît assez probable que c'est aussi à l'état liquide (ou dans un état ayant quelque analogie avec la liquidité) que le carbone circule dans le fer et s'y dissout pendant la cémentation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Une autre manière de voir, et qui expliquerait quelques phénomènes, est la suivante : Le fer porté à une température élevée possède une certaine affinité pour le carbone et tend à s'y combiner. Ce composé du fer avec le carbone, mou et ductile à chaud, est dur et cassant à froid. Mais cette combinaison est fort peu stable, et en se refroidissant elle tend de nouveau à se détruire, le fer se séparant du carbone, et alors ces deux éléments ne sont plus que mélangés et juxtaposés et ont repris chacun ses propriétés caractéristiques ordinaires. Lorsque le refroidissement est lent, cette séparation s'opère en effet ; mais lorsque le refroidissement est très-brusque, la combinaison du fer et du carbone n'a plus le temps de se détruire ; le carbone reste combiné au fer, et le métal présente alors la dureté et les autres propriétés physiques caractéristiques de la combinaison. Dans la fonte grise ou noirâtre, une bonne partie du carbone, sinon la majeure partie, se trouve simplement mélangée avec le fer à l'état de graphyte. Aussi cette fonte n'est-elle nullement dure, et lorsqu'on la dissout dans un acide, le carbone libre n'étan pas attaquable se retrouve dans le résidu insoluble.

Mais si maintenant on chauffe cette fonte au rouge et jusqu'à fusion, le carbone libre se combinera avec le fer. Si on laisse refroidir très-lentement, on retrouve de nouveau la fonte grise. Mais si le métal liquide est refroidi très-brusquement, par exemple en le coulant en coquille ou en plaques minces, sur lesquelles on jette immédiatement de l'eau fraîche, cette même fonte, qui n'aura point changé de composition, se trouvera convertie en fonte blanche tellement dure qu'elle est inattaquable par la lime et extrêmement cassante. Cette fonte blanche, dissoute dans un acide, laissera dégager la majeure partie de son carbone à l'état d'hydrogène carburé gazeux, preuve bien évidente que ce carbone s'y trouvait engagé dans une combinaison avec le fer.

Il en est de même de l'acier. Dans l'acier refroidi très-lentement, le fer et le carbone ne sont que mélangés ; aussi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'acier, dans cet état, présente-t-il les propriétés du fer : il est mou et ductile. En chauffant au rouge, le fer se combine de nouveau avec le carbone ; si l'on refroidit alors brusquement, c'est-à-dire si l'on trempe, cette combinaison n'a pas le temps de se détruire, elle persiste et l'acier trempé est maintenant dur et cassant. En réchauffant graduellement l'acier trempé, la combinaison devient de nouveau moins intime et l'acier se recuit.

Cette théorie de la trempe et du recuit est cependant insuffisante pour nous donner l'explication de toutes les circonstances que l'on observe dans la pratique, et il est bien certain que la question est encore loin d'une solution satisfaisante. N'ayant pas autorité pour la trancher, nous ajouterons seulement, à ce qu'il y a de phénoménal dans la trempe, le fait pratique suivant : en chauffant, après la trempe, un outil quelconque, jusqu'à ce qu'il prenne la couleur jaune, l'acier reçoit un recuit et devient plus doux ; mais en répétant cette même chaude une seconde fois, l'acier redevient plus dur. Un fait presque analogue s'observe dans les fers à grain qui par le travail deviennent nerveux, et reprennent le grain après une seconde chaude suivie d'une immersion dans l'eau.

Quant à nous, nous croyons que, pour expliquer les phénomènes de la trempe et en général pour bien connaître la constitution de l'acier, il ne faut pas trop exclusivement les étudier au point de vue chimique, mais les considérer également au point de vue physique. Certainement il est indispensable, pour de pareilles recherches, de bien connaître la composition de l'acier et surtout son degré de carburation ; mais il est tout aussi nécessaire d'examiner également l'arrangement des molécules, si elles sont plus ou moins serrées, leur état fibreux, granuleux ou cristallin, leur plus ou moins de régularité et d'homogénéité, leur texture, leur densité, leur cohérence, leur ténacité, etc., etc. Il faudra répéter cet examen, après la trempe, pour constater les modifications survenues dans l'arrangement des molécules, par suite de cette

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

opération ; en recuisant ensuite l'acier et en faisant suivre le recuit, soit d'un rafraîchissement brusque, soit d'un refroidissement très-lent (dans ce cas il faudrait sans doute tenir compte de la température de l'air ambiant, qui pourrait bien ne pas être sans quelque influence), on déterminera les nouveaux changements opérés par le recuit. On arrivera ainsi à accumuler un certain nombre de données physiques qui, ajoutées à celles résultant des expériences chimiques, permettront probablement de résoudre, d'une manière plus satisfaisante que cela n'a été fait jusqu'ici, les questions relatives à la constitution de l'acier et à l'explication du phénomène de la trempe. Quoi qu'il en soit, il est certain que la constitution de l'acier est tellement impressionnable, qu'il suffit de quelques parties atomiques d'une substance nuisible, pour altérer profondément ses qualités.

Voilà pourquoi nous nous méfions un peu lorsqu'on nous assure qu'on est à même de produire, par le procédé Bessemer, toutes les qualités d'acier fondu qu'on peut désirer. Nous nous méfions d'autant plus que ce procédé, peut-être plus que tout autre, exige l'emploi de bonnes fontes pour la fabrication de l'acier (1). Et c'est pour cette raison aussi que les fontes suédoises, contenant peu de phosphore, de soufre et d'arsenic, ont donné, jusqu'à présent, les meilleurs aciers Bessemer. En effet, on reconnaît bien à la flamme des gaz, que le silicium et le carbone ont été éliminés, mais le phosphore, le soufre et l'arsenic s'échappent moins facilement, surtout s'ils s'y trouvent en quantité tant soit peu notable. Il faut donc rechercher pour ce procédé des minerais ou des fontes riches en silicium et en carbone, parce qu'on peut admettre, comme règle générale, que plus la fonte contient de carbone et de silicium, moins elle renferme de phosphore, de soufre et d'arsenic.

(1) Cela est tellement vrai que les fontes des Pyrénées n'ont pas donné, au moins jusqu'à présent, de bons résultats, lorsqu'on a voulu en faire de l'acier Bessemer; tandis qu'on en fait de bons aciers puddlés qui, à leur tour, servent à produire un excellent acier fondu.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce que nous venons de dire, concernant les impuretés des fontes, démontre également combien il faut s'assurer de la bonne qualité des minerais, surtout lorsqu'il s'agit de produire des qualités supérieures d'acier, en coulant la fonte directement du haut fourneau dans les convertisseurs. En refondant préalablement les fontes du haut fourneau dans un cubilot ou dans un four à réverbère, on a l'avantage de pouvoir d'abord casser ces fontes pour en examiner le grain, en éliminant toutes celles qui paraissent douteuses ou impropres (1).

Les difficultés que présente, dans le procédé Bessemer, l'élimination du phosphore, du soufre et de l'arsenic, proviennent sans doute d'abord de l'extrême rapidité avec laquelle s'opère la décarburation de la fonte liquide, dans le convertisseur, et ensuite de ce qu'il est impossible d'y adjoindre à la réaction de l'air sur la fonte celle de bonnes scories affinantes. De pareilles scories, introduites dans le convertisseur, ne tarderaient pas à en dissoudre les parois réfractaires, lesquelles sont déjà assez assujetties à de trop fréquentes et coûteuses réparations. Aussi croyons-nous qu'à ce point de vue le four à réverbère de M. Martin (ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer) peut avoir une certaine supériorité sur le procédé Bessemer, parce que la décarburation s'y fait plus lentement et qu'on y profite davantage de la nature affinante des scories, ce qui permet d'obtenir un métal mieux affiné et plus pur.

Les observations que nous venons de présenter nous paraissent justifier l'opinion déjà énoncée plus haut, que le procédé Bessemer, au moins dans les conditions actuelles, ne peut lutter avec la fusion au creuset pour la production régulière

(1) C'est, du reste, ainsi qu'on procède pour la production des aciers fondus au creuset : on casse les fers cémentés ou les aciers puddlés en petits morceaux, qu'on classe selon le grain que présentent les cassures; et ce n'est qu'après le triage qu'on les place ensuite dans les creusets, suivant à la qualité d'acier qu'on veut obtenir.

Si ce triage des morceaux d'acier se fait avec soin et par des ouvriers expérimentés, on est à peu près certain d'avance de la régularité des qualités d'acier qu'on cherche à produire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'aciers tels qu'il les faut pour la fabrication d'instruments et d'outils de qualité supérieure. De pareils aciers, outre qu'ils doivent être très-fins, très-nerveux, très-tenaces, capables d'acquérir par la trempe une grande dureté, tout en conservant une grande force de résistance, doivent, en outre, être d'une qualité et d'une homogénéité parfaites. C'est là une condition indispensable pour que le manufacturier puisse employer les aciers avec sécurité et avantage : car, si sur 100 kilogrammes d'objets fabriqués avec eux, il y avait seulement un ou deux objets défectueux, le manufacturier pourrait en éprouver une perte très-considérable. Une masse d'acier, d'un certain volume, peut présenter, en apparence, une grande homogénéité, sans cependant la posséder réellement. Aussi faut-il bien se garder de juger de l'homogénéité d'un acier d'après des essais faits sur de grosses pièces ; ce n'est qu'après avoir transformé un certain nombre de barres en des milliers de petits objets, et après avoir trouvé ces derniers tous de même qualité, qu'on pourra se prononcer en connaissance de cause sur la véritable valeur de l'acier.

Cette observation est également applicable à l'acier fondu au creuset ; de gros lingots, de grosses et même de petites barres peuvent présenter, dans leur cassure, et aussi dans leur emploi, pour des objets d'un certain volume, la meilleure apparence d'une grande homogénéité : mais si l'on en fabriquait des aiguilles, des ressorts de montres ou d'autres petits objets, il pourrait se trouver que cet acier fût cependant d'une qualité extrêmement inégale. Il est possible que cette position d'infériorité des aciers Bessemer, vis-à-vis des aciers fondus au creuset, ne soit que temporaire et que, avec l'expérience plus grande des divers procédés et des diverses phases de fabrication qu'on acquerra successivement, dans tous les pays, l'on parvienne à produire, d'une manière régulière, des aciers de qualité supérieure ; mais, ce qui est certain, c'est qu'un tel résultat ne s'obtiendra jamais avec de la mauvaise fonte, et que, pour le réaliser, il faudra employer les fontes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les plus aciéreuses, les plus pures et les plus exemptes de corps étrangers nuisibles et difficiles à éliminer.

Nous répéterons donc ici ce que nous avons déjà dit plus haut, c'est que, en vue de la production des meilleures fontes aciéreuses possibles, les maîtres de forges devront diriger toute leur attention sur les quatre points principaux suivants: 1° fabrication d'un coke léger et alcalin et débarrassé de toute trace de phosphore, de soufre et d'arsenic; 2° triage, séparation et purification des minerais par grillage, lavage, exposition à l'air, etc., etc., pour en éliminer les gangues terreuses inutiles ou nuisibles, et surtout les sulfates, phosphates, arséniates, etc.; 3° traitement le plus rationnel des minerais au haut fourneau, avec le concours de substances purificatrices, afin d'augmenter les conditions favorables de production d'une fonte extrêmement pure et à propension aciéreuse; 4° affinage rationnel et perfectionné de la fonte, peut-être aussi avec le concours de substances pouvant favoriser l'élimination des dernières traces de matières nuisibles (on a déjà proposé l'emploi du zinc et du plomb pour enlever le soufre).

§ 6. — Résultats économiques des progrès accomplis et progrès prochains.

Dans ces quatre phases de la production de la fonte il y a encore bien des perfectionnements à introduire, bien des progrès à accomplir; nous conservons l'espoir qu'on arrivera finalement à amoindrir et peut-être même à supprimer cette espèce de monopole que possédent aujourd'hui quelques pays, grâce à la pureté exceptionnelle de leurs minerais et de leur combustible. Quoi qu'il en soit, nous croyons le procédé Bessemer déjà aujourd'hui assez expérimenté et perfectionné pour satisfaire à la production d'aciers d'une qualité à la vérité ordinaire, mais cependant parfaitement convenable pour une foule d'applications des plus importantes. Aussi engageons-nous les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fabricants de ces aciers à en réduire le prix le plus possible ; leur bon marché sera le meilleur moyen d'en augmenter considérablement la consommation et partant aussi la production. On est déjà parvenu à fournir des rails en acier fondu à raison de 31 fr. 50 les 100 kilogrammes, au lieu de 60 francs qu'ils coûtaient il y a quelques années. C'est un beau résultat : les producteurs qui ont pu fournir à ce prix ont bien mérité de leur industrie et de leur pays. Car, avec de l'acier à 60 francs, les compagnies de chemin de fer trouvaient déjà un avantage à substituer l'acier au fer ; seulement elles se seraient bornées à ne mettre les rails d'acier que sur les parties les plus fatiguées de la voie. Mais au prix de 31 fr. 50, elles ont maintenant intérêt à remplacer au plus vite tous leurs rails en fer, même avant leur usure, par les rails en acier.

Les compagnies pourront d'ailleurs placer leurs rails en fer non usés sur les parties de la voie qui sont peu fatiguées, ou bien les céder pour l'établissement de nouveaux chemins de fer vicinaux qui sont moins exposés à l'usure et dont les ressources, pour frais de construction, sont souvent très-limitées. La voie ferrée ou plutôt d'acier devenant plus solide, plus résistante et plus durable, permettra la circulation de machines plus lourdes et partant plus puissantes, qui traîneront des trains plus considérables et avec une plus grande vitesse (1).

Ces avantages ne peuvent manquer de donner lieu à une exploitation plus économique des chemins de fer et, par suite, à une augmentation de recettes et de bénéfices. Aussi avons-nous la ferme conviction que toutes les compagnies comprendront l'avantage immense qui résultera pour elles de ce bas prix des rails en acier et qu'elles se hâteront d'achever le plus tôt possible cette grande transformation de leurs lignes. Il est encore à remarquer que, de l'emploi des rails en acier, il résultera, pour les compagnies, un autre avantage qui ne sera aucunement

(1) Ce sont les rails en fer trop peu résistants et les trains trop légers qui se sont opposés jusqu'à présent à une marche plus rapide des trains.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à dédaigner : c'est que, lorsque les rails en acier seront usés, les compagnies les vendront avec bien moins de perte que les rails en fer. En effet, on parviendra facilement à étirer les vieux rails en acier, soit au laminoir, soit au martinet, aux dimensions en usage dans le commerce, et ils fourniront alors un tout aussi bon usage que les aciers neufs, tant pour outils aratoires que pour la grosse taillanderie, etc.

Mais, ainsi que nous venons de le dire, pour donner à cette nouvelle industrie tout l'élan qu'elle est susceptible de prendre, il faut absolument fixer les prix de ces aciers assez bas pour que l'avantage, résultant de la substitution de l'acier au fer, soit très-palpable et saute, comme on dit, aux yeux de tout le monde. En prenant ces grands développements, que nous souhaitons à cette industrie, l'emploi de l'acier se généralisera de plus en plus ; dans ce cas, il est même probable que cette tendance exercera également une heureuse influence sur l'emploi des fers. En effet, si l'habitude de se servir de l'acier en toute chose se répandait, il est certain que les fers y participeraient pour une large part : les deux métaux rivaliseraient pour remplacer le bois, la pierre, etc., partout où il y aurait avantage à le faire. Que les fabricants d'acier Bessemer commencent par abaisser les prix des tôles, des ressorts, etc., etc., en proportion de ceux des rails, et ils verront combien la consommation de leurs aciers augmentera rapidement.

Anciennement, lorsque l'industrie des aciers était restreinte à une petite production, on prenait un bénéfice plus grand par quintal d'acier, parce qu'on n'en produisait et n'en vendait que des quantités très-limitées. Mais aujourd'huiqu'il est possible, au moyen du puddlage et de l'appareil Bessemer, de produire les aciers en aussi grande quantité que le fer, le fabricant d'acier devra rationnellement se contenter d'un bénéfice moindre par quintal, parce que avec les mêmes frais et le même capital, on produit un nombre de quintaux beaucoup plus considérable. Le seul moyen d'utiliser ce surcroît de production consiste à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trouver et à s'assurer les débouchés nécessaires, et ceux-ci ne se trouvent qu'en réduisant assez les prix pour que la consommation trouve son avantage à employer le plus d'acier possible.

Nous avons souvent entendu dire que l'établissement du procédé Bessemer entraînait à des dépenses fabuleuses, au point qu'il fallait payer jusqu'à 300,000 francs pour deux convertisseurs et la machine soufflante. S'il faut dépenser un million en construction pour produire 5 à 6,000 tonnes d'acier par mois, il est naturel qu'on cherche à vendre le plus cher possible, afin d'arriver plus vite à l'amortissement de l'immeuble et de l'outillage. Mais, d'après les renseignements qu'on nous a transmis de l'Allemagne et que nous avons tout lieu de croire très-exacts, on construit ces appareils à bien meilleur marché en Westphalie. Effectivement, un constructeur de ce pays, garantissant qu'il fait aussi bien que le meilleur constructeur anglais, offre de livrer deux convertisseurs, d'une charge de 4,000 kilogrammes chacun, avec la presse hydraulique pour leur maniement, pour 4,800 thalers ou 18,000 francs.

La machine soufflante, composée de deux chaudières de 0^m80, et de deux cylindres de 1^m10 de diamètre et de 1^m25 d'élévation, coûterait 11,000 thalers ou 41,250 francs : soit en tout 59,250 francs, non compris la maçonnerie, pour la pose et les frais de montage. Il faudrait ajouter à ces 60,000 francs les frais d'installation, la construction d'une halle et celle des fours de fusion ; mais chaque maître de forges peut facilement faire une estimation approximative de ces dépenses, qui varient naturellement beaucoup selon la localité dans laquelle on se trouve. Quoi qu'il en soit, en comparant ces frais d'établissement aux résultats qu'ils doivent produire, nous ne pouvons nous empêcher de les trouver très-modérés ; car si l'on voulait produire par an 6 à 7,000 tonnes d'acier fondu au creuset, il faudrait une installation bien autrement coûteuse. Nous ne pouvons donc pas croire que la dépense à faire, pour établir la fabrication des aciers fondus Bessemer, puisse peser

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

davantage sur les prix de revient que pour tout autre procédé de fabrication.

Ce qui démontre, du reste, que la considération de la dépense des appareils Bessemer n'exerce qu'une influence très-secondaire sur leur établissement, c'est la rapidité extraordinaire et rarement observée dans l'industrie, avec laquelle ce nouveau mode de fabrication s'est propagé dans les pays métallurgiques. Il n'y a guère plus de quatre ans que le procédé Bessemer a reçu véritablement sa consécration pratique ; mais dès que les services qu'il est capable de rendre ont été bien constatés, on a vu se multiplier d'année en année, et dans une proportion croissante, le nombre des convertisseurs, au point que, aujourd'hui, la production en acier Bessemer est très-supérieure à celle de l'acier fondu au creuset, dont l'existence est cependant centenaire. Comme preuve de ce que nous disons, nous n'avons qu'à nous référer au tableau suivant, d'ailleurs très-instructif, dans lequel sont énumérés les noms des usines ou manufactures des différents pays qui ont adopté le procédé Bessemer, en même temps que le nombre et la capacité des convertisseurs qui y fonctionnent.

FRANCE.

Noms des usines ou des fabricants.	Nombre des convertisseurs.	Contenance des convertisseurs.	
Société *Petin, Gaudet* et Cie, à Rive-de-Gier	2 convertisseurs de 7 tonnes.		
	1 —	9 —	
Société de *Terre-Noire, Voulte* et *Bességes*	2 —	4 —	
	4 —	4 —	en construction.
Société d'*Imphy*	2 —	3 —	
Société de *Dietrich*, à Niederbronn	2 —	3 —	
Société de *Châtillon* et *Commentry*	2 —	3 —	

ANGLETERRE.

H. Bessemer, à Sheffield	2 —	3 —	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sir John Brown, à Sheffield.	2 convertisseurs de 3 tonnes.				
	2	—	10	—	
	2	—	5	—	en construction.
Cammell et Cie, à Sheffield.	2	—	3	—	
— à Penistone.	4	—	5	—	
Fox et *Son*	2	—	3	—	
Railway Steel — Cie, à Manchester	2	—	5	—	
Lancashire Steel — Cie, à Manchester	2	—	5	—	
Bolton Steel et *Iron* — Cie, à Bolton	4	—	6	—	
Mersey Steel — Cie, à Liverpool	2	—	5	—	
Barrow, *Hematite Steel* — Cie, à Barrow	4	—	5	—	
	6	—	8	—	en construction.
London and North Western Steel — Cie, à Crewe South Wales	4	—	5	—	
Dowlais Iron — Cie, Merthyr Tidwill	6	—	5	—	
Rowan, à Glascow	2	—	3	—	
Lloyds Foster — Cie, à Wednesbury	2	—		—	
Ebbw Vale, *Iron* — Cie, à Pontypool, South Wales	6	—	5	—	

PRUSSE.

M. Krupp, à Essen, a plusieurs convertisseurs, mais nous n'en connaissons ni le nombre ni la contenance.

Noms des usines ou des fabricants.	Nombre des convertisseurs.		Contenance des convertisseurs.		
Bochum, en Westphalie	2 convertisseurs de 3 tonnes.				
	4	—	5	—	
Horde, en Westphalie	2	—	3	—	
Konigshutte, en Silésie	2	—	4	—	
Poensgen, *Giesbers* et Cie, à Dusseldorf	2	—	3	—	
Oberhausen, en Westphalie	2	—	4	—	en construction.

AUTRICHE.

Neuberg, en Styrie	1	—	3	—	
	1	—	4	—	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Compagnie Rauscher, à Heft, en Carinthie	2	convertisseurs	de 2	tonnes.	
	1	—	3	—	
Compagnie des Chemins de fer du Sud, à Gratz	2	—	3	—	
Turrach, en Styrie	3	—	2	—	
Witkowitz, en Moravie	2	—	3	—	
Reschitza, dans le Banat	2	—	5	—	en construction.

SUÈDE.

Fagersta, appartenant à M. Aspelin	2	—	2	—	(1740 kil.)
Dannemora	2	—	2	—	
Carlsdahl	2	—	2	—	
Kloster	2	—	2	—	
Siljansfors	2	—	2	—	
Soderanfors	2	—	2	—	
Sandviken	2	—	4	—	

Des convertisseurs existent encore ou sont en construction : à Seraing (Belgique) ; près de Pisa (Italie) : et aux Etats-Unis; mais nous n'avons point de renseignements plus détaillés à leur égard.

Si l'établissement des appareils Bessemer devait continuer dans la même progression et si d'autres procédés, comme par exemple celui de M. Martin, ne venaient leur faire une concurrence très-sérieuse, il est évident que la multiplicité de ces appareils, jointe à leur énorme productivité, élèverait la fabrication de l'acier Bessemer, dans un temps relativement très-court, au-dessus de celle de toutes les autres espèces d'acier. Nous avons donc pu dire avec raison, que l'invention de M. Bessemer a révolutionné la grande industrie des aciers.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

FABRICATION DE L'ACIER EN FRANCE

§ 1. — Observations d'ensemble.

L'invention du puddlage et la découverte du procédé Bessemer ont sensiblement amélioré les conditions des aciéries françaises.

Avant l'introduction de ces nouvelles méthodes de fabrication, on produisait, dans le Dauphiné par la méthode rivoise et dans les Pyrénées au moyen des forges catalanes, des aciers naturels qui pour la qualité restaient bien au-dessous de ceux de l'Allemagne. Pour fabriquer des aciers cémentés et fondus de qualités ordinaires, on n'avait que les fers des Pyrénées, qui se payaient de 35 à 50 francs les 100 kilogrammes, suivant les circonstances et les localités. Les qualités supérieures d'aciers cémentés et fondus exigeaient l'emploi des fers à acier de la Suède. Aujourd'hui il n'en est plus de même.

Les fontes des Pyrénées et du Dauphiné permettent d'obtenir un acier puddlé équivalent en qualité aux aciers puddlés de l'Allemagne, et leur emploi à la fabrication des aciers fondus nous met à même de produire ces derniers dans les sortes ordinaires et courantes d'une qualité qui peut rivaliser avec les aciers fondus anglais. Pour le procédé Bessemer, comme pour le puddlage, nous tirons d'excellents minerais de l'île d'Elbe, de la Sardaigne, de l'Espagne et surtout de l'Algérie: ces minerais sont transformés en fontes dans des hauts fourneaux, situés en Corse, à Marseille, en Algérie, à Givors ou dans les aciéries même, comme à Terre-noire, à Montluçon-Imphy. Mais beaucoup de ces minerais coûtent fort cher à extraire et les trajets considérables qu'ils ont à parcourir des lieux de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur extraction jusqu'aux usines qui les transforment, rendent les frais de transport souvent extrêmement onéreux.

Il n'est pas douteux que ce soit là le principal obstacle et le côté faible de notre industrie des aciers et des fers ; car les forges de fer ont tout aussi besoin de ces bons minerais que les aciéries. Une forte industrie de fer et d'acier étant aujourd'hui indispensable à tout pays qui veut conserver ou acquérir une grande puissanee, nous ne pouvons assez engager le gouvernement à aider de tout son pouvoir nos forges et nos aciéries, pour que les conditions de transport soient améliorées, surtout entre les mines de l'Algérie et nos usines.

Il faut dire à l'honneur de nos maîtres de forges qu'ils ont fait d'énormes sacrifices et les plus grands efforts pour maintenir et relever leurs usines. Ils ont perfectionné leur fabrication et amélioré leurs produits, afin de combattre énergiquement la concurrence étrangère, qui, à la faveur des traités de commerce, a pu introduire plus facilement ses produits en France. Mais si cette grande industrie des fers et des aciers ne doit pas péricliter, si au contraire elle doit grandir et se fortifier, à l'immense avantage de la France entière, il est de toute nécessité que le gouvernement lui vienne en aide, pour que les matières qu'elle consomme ou qu'elle produit soient transportées au meilleur marché possible. Si, par l'établissement de quelques nouveaux chemins de fer, par une réduction des tarifs et par l'amélioration de la navigation, on pouvait arriver à faire disparaître les conditions onéreuses des frais de transport actuels, nous sommes persuadés que la métallurgie française deviendrait une des premières du monde. Mais pour qu'elle puisse atteindre plus facilement cette position éminente, qui réagirait de la manière la plus favorable sur la prospérité générale, la richesse et la puissance de la France, nous voudrions voir réaliser deux autres améliorations extrêmement désirables et dont le besoin se fait de plus en plus sentir. Quoiqu'elles ne soient pas précisément d'un caractère technique et ne rentrent pas directement dans notre sujet, nous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pensons qu'on nous pardonnera d'en dire quelques mots, à cause de leur influence incontestable sur le développement du commerce et de l'industrie d'un pays.

La première concerne l'extension de notre commerce extérieur et l'augmentation de nos débouchés sur les marchés étrangers.

Il y a encore beaucoup de contrées et de pays ou les produits français trouveraient des consommateurs et un placement avantageux, si ces produits y étaient mieux connus et appréciés. Pour arriver à ce résultat, le gouvernement impérial a bien établi de nombreux consulats, et se fait adresser de fréquents rapports sur la situation commerciale et industrielle des localités où résident ses agents. Mais cela ne suffit pas; dans tous les ports de mer, dans toutes les villes commerciales de quelque importance à l'étranger, il devrait y avoir des représentants du commerce ou de l'industrie privée. Sous ce rapport la France est bien en arrière non-seulement de l'Angleterre, mais même de la Suisse.

Il faut bien l'avouer, la jeunesse française ne voyage pas assez, elle fréquente rarement les contrées éloignées avec esquelles on pourrait entretenir des relations commerciales ructueuses et rémunératrices. Nos habitudes sont trop sédentaires et pas assez cosmopolites. En général on peut dire que le Français ne comprend et ne parle que sa langue maternelle et néglige trop l'étude des langues étrangères, out en reconnaissant combien cette étude est utile et même nécessaire. Depuis que les chemins de fer et la navigation à vapeur ont tellement abrégé les voyages et rapproché les peuples, le besoin de parler plusieurs langues se fait encore bien plus sentir.

faudrait donc favoriser la création d'écoles de commerce, où l'on enseignerait aux élèves non-seulement la comptabilité et la correspondance commerciales, mais aussi les langues les plus répandues, telles que l'anglais, l'allemand, l'espagnol, etc., etc.; on leur apprendrait à connaître la législation douanière, les besoins, les ressources et les coutumes des divers

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peuples, ainsi que leurs produits naturels ou fabriqués, en un mot on leur communiquerait toutes les notions qui peuvent faciliter l'établissement de relations suivies avec les nations vis-à-vis desquelles un commerce, soit d'importation, soit d'exportation, pourrait être avantageux.

Mulhouse vient de nous donner un bel exemple par la création dans son sein et au moyen de ses propres ressources, d'une école privée de commerce parfaitement organisée. Il faut espérer que cet exemple sera imité. Rien n'est plus commun en Angleterre, en Suisse et même en Allemagne, que de voir des fils de commerçants et d'industriels s'expatrier pour une série d'années, créer dans les pays lointains des maisons de commerce ou des établissements industriels, y faire fortune, puis revenir dans leur pays natal pour y vivre dans l'aisance et jouir tranquillement du fruit de leur travail. Leur retour n'interrompt pas les relations établies ; d'autres compatriotes les remplacent, et c'est ainsi que s'agrandit et que se consolide la sphère commerciale et industrielle d'une nation.

La seconde amélioration, dont la réalisation nous paraît urgente, consiste dans la suppression la plus rapide possible des obstacles et des entraves que rencontrent non-seulement la métallurgie, mais toutes les industries françaises sans exception, dans notre législation sur les brevets d'invention.

Nous ne voulons pas ici discuter cette grave question, qui a été traitée de main de maître, par l'illustre président de la section française du Jury international, dans sa célèbre introduction aux rapports sur l'Exposition de Londres. Nous nous contenterons de citer un simple fait, intimement lié au sujet qui nous occupe, puisqu'il confirme, de la manière la plus frappante, ce que M. Michel Chevalier a dit dans cette introduction, dont nous demandons la permission de citer un passage. (Introduction, page CLXIII.)

« La législation des brevets d'invention peut avoir l'effet « d'entraver notre commerce d'exportation, et de priver l'in- « dustrie nationale de débouchés utiles. C'est ce qui arrivera

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« presque nécessairement toutes les fois que le procédé ou « l'appareil breveté aura de l'importance, et que le soi-disant « inventeur se montrera exigeant à l'égard des manufacturiers « français qui voudraient employer l'invention réelle ou sup- « posée. Car le manufacturier étranger, établi dans un pays « voisin où le brevet n'est pas reconnu, pourra, sur les tiers- « marchés, livrer le produit dont il s'agit avec un rabais me- « suré par la prime que le manufacturier français, son com- « pétiteur, aura dû payer au breveté pour la jouissance du « brevet. Il n'est pas possible de maintenir une législation qui « rend ainsi un particulier sans responsabilité l'arbitre du « commerce national. »

M. Bessemer, comme inventeur breveté de l'appareil et du procédé qui portent son nom, prélève une rétribution de 3 fr. par 100 kilogrammes de rails, et de 5 francs par 100 kilogrammes d'acier en barres fabriqués d'après sa méthode.

Nous nous hâtons de déclarer que nous n'envions nullement à M. Bessemer le revenu princier qu'il tire de sa découverte, et que nous trouvons au contraire tout à fait juste et équitable qu'il reçoive une brillante rémunération comme récompense de son savoir, de sa persévérance et de son travail opiniâtre, qui ont fait faire un si grand progrès à la métallurgie du fer. Nous ne trouverions même rien à redire à la rétribution indiquée, si elle était prélevée dans tous les pays. Mais il n'en est point ainsi. La Prusse a refusé le brevet d'invention à M. Bessemer, et comme conséquence, les fabricants d'acier de la Prusse peuvent utiliser son procédé et son appareil sans avoir à payer les frais de licence. Ils pourront donc livrer sur les tiers-marchés les rails à 30 francs, et les aciers en barre à 50 francs par tonne meilleur marché que les fabricants français et anglais; toutes autres conditions de production étant supposées égales. Cette seule différence de prix peut avoir pour effet de faire prédominer les aciers Bessemer prussiens sur tous les marchés étrangers, au grand détriment de leurs concurrents, et d'assurer ainsi à l'industrie de l'acier Bessemer de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la Prusse la supériorité sur l'industrie similaire de la France et de l'Angleterre. L'énoncé seul de la possibilité d'un tel résultat démontre l'urgence de porter remède à cette situation et de prévenir une éventualité aussi onéreuse pour notre industrie. On est fondé à dire que notre législation sur les brevets d'invention est comme une épée de Damoclès suspendue au-dessus de la tête des fabricants. Ce n'est qu'en tremblant qu'ils osent acheter une machine ou introduire un perfectionnement, une amélioration ou même un changement quelconque dans leur fabrication, de peur que ce perfectionnement, cette amélioration ou ce changement ne soient déjà brevetés. Il s'ensuit que le fabricant honnête, craintif et ennemi des procès, est enclin à reculer devant toute innovation, dans la crainte de tomber sur une chose déjà brevetée, et d'être condamné comme contrefacteur. L'on nous objectera peut-être que le fabricant n'a qu'à s'enquérir des brevets pris depuis quinze ans. Mais dans l'espace de quinze ans le nombre des brevets est tellement prodigieux, qu'il est matériellement impossible de les parcourir tous. Pourtant ce serait presque nécessaire si l'on voulait acquérir la certitude entière de ne pas devenir contrefacteur. Car, lire le titre d'un brevet ne suffit nullement, puisque très-souvent le brevet principal se trouve noyé dans une foule de brevets ou certificats d'addition, qui en changent complétement la nature primitive. C'est ainsi qu'on a vu des brevets principaux, qui s'appliquaient à un procédé de fabrication parfaitement déterminé, devenir, par suite de cinq ou six certificats d'addition, applicables à d'autres procédés de fabrication tout à fait dissemblables du premier. Il est donc certain que le fabricant, à moins de passer sa vie à lire tous les brevets qui, de près ou de loin, touchent à son industrie par une parenté quelconque, s' expose à être ou à devenir contrefacteur sans s'en douter le moins du monde. Aussi voit-on de nos jours beaucoup de fabricants prendre des brevets, non pas pour s'assurer un monopole, mais sim-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plement pour être certains de ne pas être molestés pour leur propre invention.

Quels que soient les avantages qu'on puisse invoquer en faveur de notre législation des brevets d'invention, ils doivent être considérés comme nuls et non avenus, s'ils mettent en danger une seule chose, mais qui est d'une importance vitale pour l'industrie... la sécurité.

§ 2. — Statistique de la production.

D'après le bulletin du Comité des forges de France, la production des aciers a été la suivante :

	Acier de forge et Acier puddlé.	Acier de cémentation.	Acier fondu.
1860	16,917,100 kil.	6,418,800 kil.	6,517,900 kil.
1861.....	21,878,500	8,451,900	7,446,600
1862.....	26,474,100	11,139,400	9,482,500
1863.....	20,602,200	7,564,700	9,416,100
1864.....	24,551,600	6,977,400	10,030,200

Quant à la production de l'acier Bessemer, voici comment elle se répartit :

	1863.	1864.	1865.	1866.
	k.	k.	k.	k.
Compagnie de Terre-Noire.....	41,296	443,065	1,753,384	1,537,153
— de Châtillon-Commentry.	»	»	»	59,090
Société d'Imphy-Saint Seurin ..	838,577	2,965,876	3,751405	4,857,982
— Menans et Cie (1).....	»	183,530	346,109	»
— de Dietrich et Cie	»	271,410	840,898	485,555
Petin, Gaudet et Cie.....	976,781	2,887,004	3,059,018	3,851,172
	1,856,654	6,750,885	9,751,014	10,790,952

(1) D'après ce que nous avons appris, la société Menans a vendu ses convertisseurs à celle de Terre-Noire.

Ces chiffres montrent qu'en 1866 la production d'acier Bessemer arrivait déjà au tiers de la production des autres espèces d'acier réunis.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En effet, en 1864 la quantité des aciers forgés, puddlés, cémentés et fondus s'élevait à 41,559 tonnes ; mais il faut évidemment en retrancher l'acier fondu qui est fabriqué avec une partie des aciers cémentés et puddlés, et ce n'est donc que le chiffre de 31,529 tonnes qui représente la production réelle d'aciers utilisables pour les besoins de l'industrie.

De nos jours la faculté productive des appareils Bessemer est fort agrandie. Les maîtres de forges produisant l'acier Bessemer possèdent aujourd'hui le nombre de convertisseurs suivants :

Société d'Imphy.....	1	paire de convertisseurs de	3	tonnes.	3
— Petin, Gaudet et Cie.....	1	—	7	—	7
— Terre-Noire.....	1	—	4	—	4
— — et Cie.....	2	—	3	—	6
— de Dietrich.....	1	—	3	—	3
— Châtillon et Commentry .	1	—	3	—	3
					26 tonnes.

Il y a donc aujourd'hui en France 7 paires de convertisseurs capables d'opérer sur 26 tonnes de fonte par charge ; à 8 charges par jour (24 heures) la quantité de fonte convertie en acier est donc de 208 tonnes. Mais il faut déduire sur ces 208 tonnes environ un huitième, soit 26 tonnes, pour déchet ; la production journalière en acier Bessemer pourra donc être de 182 tonnes. En multipliant maintenant ces 182 tonnes par 300 jours, on trouve que les maîtres de forges français, avec le nombre actuel de leurs convertisseurs, pourraient produire par an la quantité de 54,600 tonnes d'acier Bessemer en lingots. Cette production serait presque double de celle des autres espèces d'acier en 1864, et quintuple de ce qu'elle a été réellement en 1866.

En France, de même qu'en Angleterre, les convertisseurs n'ont point encore travaillé (à peu d'exception près) d'une manière bien régulière et continue. Cela se conçoit aisément. L'usage de ces appareils est encore très-récent ; on en est encore à l'étude de leur marche ; on les expérimente, on mo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dific au besoin non-seulement leur allure, mais encore les matières qu'on leur donne à travailler; il arrive des accidents imprévus, et il résulte de tout cela un fonctionnement intermittent et variable. En outre la consommation des aciers, quoique en progression très-rapide, ne correspond pas encore avec la productivité des grands appareils Bessemer.

Dans la plupart des usines on ne fait donc fonctionner les convertisseurs qu'au fur et à mesure des demandes; suivant que ces dernières sont plus ou moins nombreuses, on fait aussi travailler l'appareil Bessemer plus ou moins activement; et si les demandes manquent, on arrête la fabrication, d'autant plus volontiers que les chômages sont sans danger pour les convertisseurs et qu'on peut les remettre en activité d'un jour à l'autre.

Mais, comme nous l'avons déjà démontré, avec la baisse de prix des aciers Bessemer la consommation de ces aciers prendra un très-grand essor; c'est seulement lorsqu'on fera travailler les convertisseurs avec la continuité qui est d'usage pour d'autres appareils métallurgiques, tels que les hauts fourneaux, les fours à puddler, etc., c'est alors seulement qu'on aura idée de ce qu'ils peuvent fournir en réalité, et que l'on pourra se convaincre qu'ils surpassent même en productivité la plupart des autres appareils sidérurgiques.

§ 3. — Examen des produits exposés.

Quoiqu'on ait recommandé aux rapporteurs de se restreindre principalement aux considérations générales, nous avons été à même de constater de si nombreux et de si louables efforts personnels faits par des exposants dans l'intérêt de cette industrie des aciers, qu'il serait vraiment injuste de ne pas chercher à faire ressortir dans ce travail le mérite de quelques-uns des principaux fabricants. Cette infraction à la règle nous sera sans doute d'autant plus permise et pardonnée, que ce que nous avons à dire contribuera à faire encore

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mieux apprécier cette importante industrie. Nous commencerons par MM. Petin, Gaudet et Cie de Rive-de-Gier, qui ont obtenu à l'Exposition une récompense exceptionnelle.

MM. Petin, Gaudet et Cie sont maîtres de forges, fabricants d'aciers et constructeurs; ces trois branches d'industrie très-proches parentes entre elles, les ont forcés d'établir un puissant outillage; et cet outillage, à son tour, leur a été extrêmement utile pour développer et perfectionner chacune de ces trois fabrications. C'est ainsi qu'ils ont été les premiers à laminer des tôles d'acier et de fer dans des dimensions inusitées jusqu'alors (1).

Ils ont les premiers appliqué ce laminage aux plaques des blindages et y ont réussi d'une façon admirable. Grâce à l'emploi d'excellents minerais, à des moyens de forgeage et de laminage des mieux agencés et à une fabrication des plus soignées et des plus intelligentes, MM. Petin, Gaudet et Cie fournissent aujourd'hui une énorme quantité de blindages à la marine française et aux diverses marines étrangères. Nous donnerons ci-après, dans une note, le procès-verbal de réception d'une fourniture récente de plaques que ces industriels ont faite au gouvernement espagnol dont nous avons pu nous procurer une copie. On y lira les épreuves terribles auxquelles ces cuirasses de vaisseaux sont soumises, mais qui démontrent en même temps la résistance victorieuse et extraordinaire que présentent les blindages sortant des usines de Rive-de-Gier.

On se rappelle qu'à l'Exposition de 1855 MM. Petin, Gaudet et Cie avaient exposé les premières chaudières en acier fondu. Depuis cette époque, la fabrication des tôles destinées à cet usage s'est grandement développée en France et dans les autres pays, à cause de leurs avantages sur les tôles de fer.

(1) Les plus fortes tôles qu'on laminait auparavant pesaient 100 kilogrammes. Aujourd'hui on en lamine de 18 mètres de longueur, 2^{m} 25 de largeur, et du poids de 1,600 kilogrammes.

Par l'emploi de ces tôles on réduit notablement les rangs de rivures dans la construction des chaudières. MM. Petin, Gaudet et Cie laminent même des plaques de blindage de 12,000 kilogrammes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ils sont encore les créateurs du laminage circulaire. Ils ont inventé dans ce but le laminoir pour bandages sans soudure, dont ils ont les premiers fait l'application aux cercles de chemins de fer. Ils en ont déjà livré aux diverses compagnies plus de 600,000 pièces. Ils produisent des fers en T de 30 mètres et plus de longueur jusqu'à 1 mètre de hauteur d'âme; les fers en T sont beaucoup employés par la marine impériale.

Une autre fabrication dans laquelle cette Société excelle, c'est celle des *frettes*. Par leur emploi, la marine a pu conserver ses canons en fonte et tirer à grandes charges de poudre, sans aucun risque d'accident, avec des pièces d'une résistance jusqu'alors si limitée. Cette application n'était possible qu'à la condition absolue de réunir à la fois une grande résistance à une parfaite élasticité. Des aciers puddlés, travaillés d'une façon spéciale, servent à cet usage et prouvent ainsi une fois de plus que les aciers naturels et les aciers fondus se maintiendront les uns à côté des autres, en s'entraidant et en se suppléant, comme nous l'avons fait remarquer dans nos considérations générales.

Les spécimens de forges exposés par cette usine, tels que : arbres coudés, essieux droits et coudés, bielles de locomotives en acier fondu, montrent, par la pureté de la matière et le fini du travail, que cette fabrication y est portée à la perfection.

Depuis quatre ans, MM. Petin et Gaudet ont également entrepris la fabrication des projectiles, dont plusieurs sont d'une exécution assez difficile, notamment les boulets sphériques étampés. Ils les obtiennent maintenant par des procédés qui leur sont propres, aussi couramment que les boulets tournés cylindriques ou ogivaux. La dureté et la ténacité remarquables de ces projectiles les ont fait apprécier dans toutes les épreuves de tir.

Dès la même année 1863, il ont abordé la fabrication des grosses pièces d'artillerie en acier fondu et ils sont aujourd'hui parfaitement à même de produire ces engins de guerre aussi bien que partout ailleurs. Quant aux canons de fusil en acier

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fondu, modèle Chassepot, ils en fabriquent aujourd'hui 40,000 par mois, sans que jamais un seul canon leur ait été rebuté. En 1858, la Société a installé un atelier de moulage d'acier fondu qui a pris depuis un grand développement.

Les éperons du *Magenta* et du *Solferino,* du poids de 16,000 kilogrammes, sont sortis de cet atelier. Ajoutons encore que MM. Petin, Gaudet et C^ie^, depuis dix ans, ont doublé leur production ainsi que le nombre de leurs ouvriers; ils en occupent aujourd'hui 5,000, qui produisent 50,000 tonnes de fers, aciers et matières ouvrées, d'une valeur de 35 millions de francs.

La Société Petin, Gaudet et C^ie^ a acquis, dans l'île de Sardaigne, une mine très-riche en minerai oxydulé magnétique et y a dépensé plus de 2 millions (1).

(1) Note sur les essais qui ont eu lieu en Espagne sur des plaques de blindage de MM. Petin, Gaudet et C^ie^.

La Commission était composée de : Direction des ingénieurs; président, M. le colonel d'E. M., de l'artillerie, D. Miguel Torréo; membres, capitaine de frégate D. Luis Montojo, D. Bernardo Berro; secrétaires, lieutenant d'E. M., de l'artillerie de l'armée, D. Luis Ripoll.

(Procès-verbal de la séance tenue par la Commission le 24 juillet 1867.)

Réunie, le jour susmentionné, dans la batterie des expériences de ce département, à Torregorda, la Commission des membres ci-dessus désignés dans le but de procéder à l'essai d'une plaque de blindage appartenant au 1^er^ lot de celles qui doivent composer le blindage de la frégate *Resolucïon,* invita M. le président à donner lecture de l'ordre royal du 8 courant, qui prescrit l'exécution dudit essai, ainsi que du règlement auquel cet essai doit être soumis, comme celui des autres plaques dudit navire, comprises dans le contrat de fournitures accompagnant la disposition citée.

Après lecture faite par le membre-secrétaire, la Commission informée procéda, avant tout, à fixer les conditions de l'essai. Les marques et dimensions de la plaque sont :

	Longueur.	Largeur.	Épaisseur.
Marque n° 8, rangée A babord.....	4^m^ 006	0^m^ 790	0^m^ 130

Elle se trouve fixée à la barrière d'essai par quatorze boulons de vis en bois; mais les dix-sept trous de la plaque n'ont pas été utilisés parce que celle-ci excédait en longueur la hauteur de la barrière.

En conséquence de ces dimensions et des articles 3 et 4 dudit règlement Commission décida que l'essai consisterait en quatre coups tirés avec le canon de 20 centimètres n° 1, sous une charge de 9 kilogr. 25 de poudre, un projectile plein, en fer fondu, du poids moyen de 29 kilogr. et deux bourres du poids de 5 kilogr. les deux.

est ensuite procédé à l'essai de la poudre dans les mortiers, ainsi qu'à la constatation des observations météorologiques, et le résultat obtenu est le suivant :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour signaler les aciéries de la Loire, l'une à la suite de l'autre, nous nommerons :

La *Société de Terre-Noire, la Voulte et Bességes* (Loire), comme étant, industriellement parlant, une des forges les

Essai de la poudre, portée moyenne de 3 coups	225,3m
Baromètre réduit à 0° en millimètres	762,241
Température en degrés centigrades	23,06
État hygrométrique de l'atmosphère	0,561
Vent : direction O. vitesse	253m par 1
État du ciel	clair.

Ces constatations terminées, et, après le coup de nettoyage, il est procédé à l'essai de la plaque par les quatre coups convenus qui produisirent les résultats suivants :

ORDRE DES COUPS.	COTÉS des PLAQUES.	EFFETS PRODUITS PAR LES PROJECTILES.	QUALIFICATION des coups de boulets.	OBSERVATIONS.
1	Antérieur..	Empreinte de 223 mil de diamètre et 54 mil de pénétration, avec trois petites crevasses A, B et C, naissant à la circonférence de l'empreinte et qui ont apparu au deuxième coup.	Supérieur.	
	Postérieur..	Bossage de 34 mil avec une crevasse de peu d'importance dans le sens du diamètre, prolongée à l'un de ses bouts presque à angle droit, et deux autres très-petites parallèles à celle-ci.		
2	Antérieur..	Empreinte de 230 mil de diamètre et 60 mil de pénétration.	Supérieur.	A ce coup, le centre du projectile a donné sur la tête d'un boulon.
	Postérieur.	Bossage de 52 mil avec une crevasse dans le sens du diamètre comprenant le trou du boulon.		
3	Antérieur..	Empreinte de 240 mil de diamètre et 54 mil de pénétration, avec deux crevasses insignifiantes, l'une dans le sens du diamètre, l'autre plus petite, parallèle à celle-ci.	Très-bon.	
	Postérieur.	Bossage de 45 mil avec une crevasse dans le sens du diamètre correspondant à celle de la face antérieure.		
4		La pièce a éclaté et le projectile n'a pas atteint la plaque.		

La pièce ayant éclaté au quatrième coup, et quoique en raison de cette

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mieux situées de toute la France. En effet, l'usine de Terre-Noire est établie sur la houillère et sur le chemin de fer, et possède les moyens de production les plus considérables. Mais, en 1861, une inondation terrible, qui a coûté la vie à 106 ouvriers, l'a privée de ses mines de houille et de fer de Bességes et lui a occasionné une dépense de 3 millions de francs. Cependant nous nous empressons d'ajouter que les travaux, pour rentrer de nouveau en possession des mines inondées, sont près d'aboutir et que bientôt on espère arriver au minerai, qui rétablira les anciennes conditions d'exploitation et permettra à la Société de produire la tonne de fonte à 10 francs meilleur marché.

Terre-Noire est la première forge de France qui se soit décidée à prendre directement au haut fourneau la fonte pour les convertisseurs Bessemer, et elle y a réussi parfaitement. Elle est arrivée à une régularité telle que, depuis quatre mois, elle n'a pas été obligée de rallumer ses fours de fusion et il n'est pas entré dans ses convertisseurs une autre fonte que celle coulant du haut fourneau.

La Société produit actuellement 1,200 tonnes Bessemer par mois et elle en produira 2,000 tonnes dès le commencement de 1868. Elle a passé avec diverses compagnies de chemins de fer des marchés pour 28,000 tonnes de rails en acier (1).

Elle a grandement développé la fabrication des tuyaux en fonte ; l'usine de la Voulte et celle de Bességes en fournissent

circonstance, les conditions d'essai énoncées au règlement et convenues par la Commission n'aient pu être entièrement accomplies, celle-ci tenant compte des brillants résultats obtenus aux trois coups consécutifs tirés contre la plaque, a considéré qu'elle possédait les données suffisantes pour juger des conditions de résistance et de qualité ; que ces conditions étant supérieures si c'est possible à celles de la plaque essayée dernièrement avec tant de succès pour la frégate la *Zaragoza*, elles ont décidé la Commission à déclarer admissible celle dont il s'agit, à l'unanimité des voix et par conséquent acceptable le premier lot des plaques de blindage de la frégate *Resolucion*, auquel elle appartient.

La distance entre le canon et la plaque sur laquelle on a tiré était de 20 mètres.

(1) La compagnie de Terre-Noire ayant donné une forte impulsion à la fabrication des rails en acier Bessemer, nous indiquerons ici les résultats de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

15,000 tonnes par mois. Les conduites d'eau de Philippeville et de Constantine en ont absorbé près de 4,000 tonnes, et le gaz de Rome et de Paris plus de 3,000. Par l'introduction des minerais d'Afrique et par leur mélange avec les minerais de Bességes, cette dernière usine est parvenue à produire des fontes fines d'une qualité tout à fait supérieure. Le plus grand éloge qu'on puisse en faire, c'est que les forges d'Audincourt, qui passent pour produire les meilleurs fers de France, en consomment 500 tonnes par mois.

quelques épreuves auxquelles ces rails ont été soumis comparativement avec des rails en fer.

N° 1. — Rail en fer, double champignon (provenant de fontes ordinaires au coke). Ce rail, soumis à la flexion sur deux points d'appui, espacés de un mètre, ne donne point de flèche permanente à 12,000 kilogrammes et casse à 34,000 kilogrammes. Soumis au choc d'un mouton de 300 kilogrammes sur deux points d'appui espacés de un mètre, la chabotte étant de 100,00 kilogrammes, il casse à $4^{m}50$ de hauteur de chute.

N° 2. — Rail en fer, type Vignole (provenant de fontes ordinaires au coke).
Point de flèche permanente à 12,000 kilogrammes.
Rupture à 33,000 kilogrammes à la pression.
» à 4 mètres au choc.
Conditions d'épreuves du n° 1.

N° 3. — Rail en acier Bessemer, double champignon (compagnie de Paris-Méditerranée).
Épreuve à la flexion { Point de flèche permanente à 20,000 kilogrammes. / Rupture à 48,000 kilogrammes.
Épreuve au choc... Rupture à 4 mètres.
Conditions d'épreuve, voir le n° 1.

N° 4. — Rail en acier Bessemer, double champignon (compagnie de l'Ouest).
Épreuve à la flexion { Point de flèche permanente à 25,000 kilogrammes. / Rupture à 50,000 kilogrammes.
Epreuve au choc... Rupture à 4 mètres.

N° 5. — Rail en acier Bessemer, double champignon (compagnie d'Orléans).
Epreuve à la flexion { Point de flèche permanente à 22,000 kilogrammes. / Rupture à 48,000 kilogrammes.
Epreuve au choc... Rupture à 4 mètres.

N° 6. — Rail vignole, en acier Bessemer, à patin incliné (compagnie de la Méditerranée).
Épreuve à la flexion { Point de flèche permanente à 20,000 kilogrammes. / Rupture à 55,000 kilogrammes.
Rupture au choc... Rupture à $3^{m}50$.

N° 7. — Rail vignole, en acier Bessemer (compagnie du Nord).
Épreuve à la flexion { Point de flèche permanente à 20,000 kilogrammes. / Rupture à 52 kilogrammes.
Épreuve au choc... Rupture à $4^{m}50$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'usine se compose de : 14 hauts fourneaux au coke, dont 10 en marche, 58 fours à puddler, 34 fours à réchauffer, 4 laminoirs pour le puddlage, 17 laminoirs pour fers et tôles, 7 marteaux-pilons, 61 machines à vapeur, ensemble d'une force de 3,530 chevaux.

Les mines de la Société produisent : 150,000 tonnes de houille, 160,000 tonnes de minerais.

Les hauts fourneaux ont produit : 94,000 tonnes de fontes brutes, 20,000 tonnes de moulages et tuyaux.

Le nombre des ouvriers employés dans les usines et les mines est de 5,290.

Usine de M. Verdié. — M. Verdié est aujourd'hui le doyen des fabricants d'acier en France et son établissement peut compter parmi les plus importants de ce genre. MM. Verdié et C^ie^ ont acquis le brevet de M. Pierre Martin, dont nous avons parlé dans nos considérations générales, et nous avons le meilleur espoir qu'entre les mains de cet industriel expérimenté ce nouveau mode de fabrication de l'acier fondu recevra bientôt une application manufacturière régulière et satisfaisante. M. Verdié a contribué pour sa bonne part à faire progresser l'industrie de l'acier ; c'est lui qui est l'inventeur du coulage de l'acier fondu sur le fer. A la vérité, depuis la fabrication des aciers Bessemer, ce procédé a perdu son importance, mais cet aciérage ou ce mode de soudage intime des deux métaux n'en était pas moins une innovation très-ingénieuse qui a eu un certain succès et qui pourra encore donner lieu à des applications nouvelles, même pour d'autres métaux que le fer et l'acier.

C'est encore M. Verdié qui, il y a deux ans, a le premier établi les fours à fusion au moyen du gaz combustible, en place du coke. Ce nouveau chauffage non-seulement procure une économie de combustible et permet d'en employer de qualité inférieure, mais encore donne une production plus régulière, et l'acier fondu alors est généralement de meilleure qualité, parce qu'on n'a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus à craindre l'introduction du coke ou des cendres dans les creusets; ces derniers supportent aussi un plus grand nombre de fusions. Ce sont des fours à réverbère, basés sur le principe des fours générateurs de M. Siemens.

M. Verdié possède actuellement quatre fours de fusion à gaz qui contiennent chacun 20 creusets (1); ces quatre fours produisent ensemble 10,000 kilogr. d'acier fondu par vingt-quatre heures.

Il faut à peu près 1,000 kilogrammes de houille (2) menue pour couler dans ces fours 1,000 kilogrammes d'acier fondu; dans les fours au coke il faut, pour produire le même quantité d'acier, 6,000 kilogrammes de houille; et cette houille qu'on transforme en coke est, en outre, plus chère que celle qu'on peut employer pour les fours à gaz. Les creusets, qui ne supportent que quatre fusions dans les fours au coke, peuvent servir six fois dans les fours à gaz.

En considérant la production considérable de ces fours à gaz (quatre en vingt-cinq jours produisent 250,000 kilogrammes) et l'économie énorme de combustible résultant de leur emploi, il faut reconnaître que M. Verdié a réalisé, par leur établissement, un progrès des plus importants ; ce mode de fusion aidera puissamment la fabrication des aciers fondus au creuset à soutenir la concurrence du procédé Bessemer.

M. Verdié essaie depuis quelques années le puddlage au gaz; il y trouve des avantages très-sérieux : moins de déchet, plus d'homogénéité, plus de malléabilité dans le métal et une grande économie de combustible.

(1) Les anciens fours à coke ne contenaient d'abord qu'un seul creuset; on en construisit plus tard qui renfermaient deux et quelques-uns même jusqu'à quatre creusets, mais toujours chauffés au coke; cependant le chauffage des creusets. dans ces derniers fours, se fait bien plus inégalement que dans les fours à deux creusets.

Plusieurs aciéries ont aussi établi des fours à réverbère chauffés à la houille et pouvant contenir de huit à neuf creusets ; dans ces fours on réalise, à la vérité, une certaine économie sur le combustible, mais les creusets s'y chauffent beaucoup plus inégalement encore que dans les fours au coke

(2) Nous avons trouvé ces données dans la *Deutsche Industrie Zeitung*, 1866, p. 368, au sujet d'un four pareil que M. Siemens a construit en 1866, en Angleterre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'établissement se compose de : 22 fours à puddler; 20 grands fours à réverbère pour réchauffer; 18 fours à ressuer, à corroyer et à étirer; 90 fours à fondre, à 4 creusets; 4 fours à gaz, à 20 creusets chacun; 6 creusets de cémentation; 3 trains de gros laminoirs et 2 petits; 1 train pour bandages produisant 100 bandages en 12 heures (on construit en ce moment un nouveau grand laminoir et 2 trains); 11 marteaux-pilons; 4 martinets à étirer; un atelier pour ressorts produisant 70,000 kilogrammes de ressorts de carrosserie et 120,000 kilogrammes de ressorts de chemins de fer par mois.

L'usine possède une force motrice de 760 chevaux; elle consomme 260 tonnes de houille par jour.

M. Verdié occupe 1,500 ouvriers, dont il est autant le père et l'ami que le chef.

*MM. Holtzer et C^ie^*, à Unieux (Loire).—M. Holtzer a le premier introduit la fabrication de l'acier puddlé en France; il y a parfaitement réussi et en produit 4,500 tonnes par an, pour la fabrication des ressorts, taillanderie, outils aratoires, coutellerie, faux et faucilles. Il produit encore 1,500 tonnes de fers fins, 800 tonnes d'aciers corroyés pour les manufactures d'armes de l'État et pour la taillanderie, et 1,800 tonnes d'acier fondu.

MM. Holtzer et C^ie^ s'appliquent particulièrement à produire les aciers fondus de première qualité et, dans cette production, aucun autre fabricant ne leur est supérieur. Cette fabrication, par un choix scrupuleux des matières premières, par un personnel bien expérimenté et une grande surveillance, a acquis une régularité parfaite dans cet établissement. MM. Holtzer et C^ie^ possèdent à Ria, dans les Pyrénées-Orientales, trois hauts fourneaux. Les minerais traités dans ces fourneaux proviennent de la concession Thorent, propriété de la Société. Ce sont des minerais carbonatés, spathiques, hématite brune, peroxyde de manganèse, dont le rendement varie entre 50 et 55 pour 100. Suivant l'allure des fourneaux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et le lit de charge, ces minerais produisent des fontes blanches pour affinage, des fontes truitées, rubannées, grises ou cristallisées, miroitantes; ces fontes à leur tour sont employées en mélange, à la fabrication des aciers puddlés, des fers fins et au moulage de pièces très-résistantes.

Une autre branche de fabrication dans laquelle la Société Heltzer se distingue et qui mérite d'être mentionné ici, c'est celle des faux et faucilles en acier fondu. Elle fabrique aujourd'hui 400,000 faux et 150,000 faucilles. Elle en exporte plus de 100,000 en Allemagne, en Suisse et en Italie, quoique les vendant 25 pour 100 plus cher que les faux de Wurtemberg et de la Westphalie et 15 pour 100 plus cher que celles d'Autriche. C'est là un fait tellement remarquable que nous ne pouvons nous empêcher de le mentionner, d'autant plus que le mérite en revient, non-seulement à la belle et bonne confection des faux, mais aussi à l'excellente qualité des aciers fondus que MM. Holtzer et C^ie^ emploient à cette fabrication et qu'ils produisent eux-mêmes.

La Société anonyme des *Aciéries d'Imphy-Saint-Seurin.* — L'on sait que l'usine d'Imphy, appartenant à la Société de Fourchambault et l'usine de Saint-Seurin, appartenant à M. W. Jackson, ont été fusionnées en une seule, et que tout le matériel de Saint-Seurin a été transporté à Imphy; de façon qu'Imphy est constitué aujourd'hui sur le pied d'une aciérie complète sous tous les rapports.

L'usine comprend actuellement: 1° un atelier Bessemer à deux convertisseurs de 3 tonnes de production chacun, marchant à tour de rôle vingt-quatre heures de suite, à huit opérations par vingt-quatre heures, soit une production moyenne d'environ 500 tonnes par mois. C'est M. Jackson qui, le premier, avec le concours de M. Jules François, inspecteur général des mines, a introduit le procédé Bessemer en France; 2° une fonderie à la houille, produisant 90 à 100 tonnes par mois; 3° un atelier de moulerie d'acier; 4° une halle de laminage comprenant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

deux machines, l'une de 120 chevaux, l'autre de 200 chevaux; 5° huit marteaux-pilons, dont un de 7,000 kilogrammes; 6° un atelier pour la fabrication des ressorts.

Avec de tels moyens de production et sous l'habile direction de M. de L'Epée, Imphy ne peut manquer d'apporter bientôt son fort contingent à la production des aciers.

MM. de Dietrich et C^ie, à Niederbronn (Bas-Rhin). — Si la production de la fonte et des fers est toujours la principale de MM. de Dietrich, il est également certain qu'ils ont donné un développement considérable à leur fabrication d'acier puddlé. En 1856, ils n'en produisaient que 16,000 kilogrammes, en 1861 déjà 494,000 et en 1866 la production de ces aciers s'est élevée à 810,000 kilogrammes. Rien ne pourrait mieux prouver la bonne qualité de leurs aciers que cette grande augmentation de leur chiffre de vente.

L'appareil Bessemer, que MM. de Dietrich ont établi à leur usine de Mouterhouse, fonctionne toujours pour produire des bandages de roues, essieux et pièces de machines; mais il est probable qu'ils donneront plus tard un plus grand développement à cette fabrication.

La production des fontes moulées s'élève, chaque année, à 4,500 tonnes et celle des fers forgés et laminés à 3,500.

MM. de Dietrich possèdent un grand atelier de construction à Reichshoffens, où ils produisent annuellement, en moyenne, 5,000 paires de roues de wagon, 200 roues de locomotives et 800 wagons. Ils fabriquent en outre des disques-signaux, grues, plaques tournantes et autres appareils, machines à vapeur, marteaux-pilons, charpentes et ponts métalliques, pour environ 600,000 francs par an. La maison de Dietrich occupe environ 2,000 ouvriers, et pendant la plus grande partie de l'année jusqu'à 1,500 bûcherons, charbonniers, journaliers, mineurs, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Gouvy frères et C^ie^, à Hombourg (Moselle). — MM. Gouvy produisent principalement les aciers puddlés qui sont très-appréciés par les consommateurs. Leur production annuelle est d'environ 1,600 tonnes, consistant en ressorts de chemin de fer et de carrosseries, en socs et versoirs, aciers puddlés et raffinés de diverses qualités et dimensions. Ils occupent 235 ouvriers. MM. Gouvy possèdent encore à Goffontaine, en Prusse, une aciérie, qui a été fondée en 1702 et dont les aciers furent les plus estimés en France pendant près d'un demi-siècle. Les aciers de ressorts que l'usine de Hombourg produit aujourd'hui sont très-appréciés par les chemins de fer et les carrossiers.

CHAPITRE III.

FABRICATION DE LA PRUSSE.

Pour la production des fers, mais surtout pour celle des aciers, la Prusse est certainement un des pays les plus favorisés. Aussi, lorsque l'on compare l'état actuel de l'industrie des fers et des aciers en Prusse, à celui qu'elle présentait il y a une douzaine d'années, on est vraiment étonné du développement grandiose que cette industrie y a pris en si peu de temps.

De petite industrie locale, elle s'est élevée au rang d'une industrie gigantesque, produisant des masses considérables qu'elle répand sur toute la surface du pays et qu'elle exporte même par grandes quantités. Mais le mérite de cet état de choses n'appartient pas à l'industrie seule. Il en revient une forte part au gouvernement, aux ingénieurs et au pays tout entier; parce que chacun a compris que, pour profiter de la richesse des minerais de fer, il fallait les rapprocher des mines de houille.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En effet, les contrées où se trouvent les meilleurs minerais étaient écartées, d'un accès difficile et coûteux; et dans ces conditions les extractions ne pouvaient se développer.

On l'a compris en Prusse, et on peut dire qu'on n'y a rien négligé pour établir des chemins de fer, partout où le besoin s'en faisait sentir, même dans des localités où le terrain accidenté et montagneux présentait les plus grands obstacles. On a réduit au plus bas les frais de transport de ces matières lourdes et de peu de valeur (1), on a amélioré les voies navigables, on a affranchi cette industrie de divers frais et impôts dont elle était grevée, et l'on peut dire qu'aujourd'hui les mines de fer très-éloignées se trouvent, par toutes ces améliorations, presque en contact immédiat avec les houillères.

Quel en a été le résultat ? nous venons de le dire : un développement immense de l'industrie des fers et aciers qui se trouve aujourd'hui concentrée presque entièrement dans les trois bassins houillers des provinces du Rhin, de la Westphalie et de la Silésie, par conséquent dans les meilleures conditions de production possibles.

De 1855 à 1866, la fabrication des fontes de fer, y compris les fontes moulées, s'est élevée de 301,587 tonnes à 771,903 tonnes. Aujourd'hui la production est encore bien plus considérable. En même temps que cette augmentation dans la production se réalisait, on cherchait à perfectionner la marche des hauts fourneaux, et on y réussissait en alliant la science à la pratique, c'est-à-dire en contrôlant par des observations

(1) On a établi le *Pfenning Tarif* ou le tarif du centime. Ce tarif est applicable à une certaine catégorie de marchandises, notamment au transport des fontes. Au moyen de ce tarif, les chemins de fer transportent un quintal (50 kilogr.) à raison de 1 pfenning par mille allemand (7 kilom. 532), ou bien 1,000 kilogrammes, pour francs 0,0279 par kilomètre.

Il y aurait à ajouter à ce tarif, par 5,000 kilogrammes, 3 fr. 75 c. pour frais de gare au départ et autant à l'arrivée, ainsi que les frais de chargement et de déchargement; mais c'est peu important.

Au commencement, il fallait expédier un minimum de 150,000 kilogrammes à la même adresse; mais cette condition a été bientôt supprimée, et aujourd'hui il suffit de charger 5,000 kilogrammes pour jouir des avantages de ce tarif.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

scientifiques les faits que l'expérience journalière constatait. En effet, on est arrivé aujourd'hui à produire, avec des minerais moins bons et avec un combustible moins pur, des fontes d'une qualité au moins égale à celle des meilleures fontes qu'on produisait auparavant, en employant des charbons de bois de premier choix et des minerais excellents.

Ce sont là des améliorations qu'on ne peut ni trop louer ni trop recommander aux maîtres de forges de tous les pays.

Les fontes spathiques de Nassau ont une réputation universelle et s'exportent presque partout; on les emploie aujourd'hui beaucoup dans les procédés Bessemer pour restituer après la décarburation le carbone nécessaire. Elles sont désignées alors par le nom allemand *spiegeleisen* ou fonte miroitante.

Les minerais de fer spathique dont on les tire se composent, naturellement avec quelques variations, de:

74,47 °/₀ carbonate de protoxyde de fer.
17,08 °/₀ — — de manganèse.
1,34 °/₀ — de chaux.
5,75 °/₀ — de magnésie.
1,08 °/₀ résidu insoluble.
0,09 °/₀ humidité.

Ces fontes, utilisées pour la fabrication des aciers naturels puddlés et fondus, ne se produisaient qu'avec des minerais riches en manganèse et au moyen du charbon de bois, ce qui en diminuait la production et en élevait les prix. Mais, depuis les perfectionnements apportés à la marche des hauts fourneaux, on est parvenu, avec un mélange de charbon de bois et de coke et même avec du coke seul, à obtenir des fontes spathiques (aciéreuses) de la meilleure qualité; aussi la production de ces fontes a-t-elle augmenté dans une proportion prodigieuse.

C'est ainsi qu'en 1855 on n'en produisait que 7,499 tonnes, tandis qu'en 1865, cette production s'était déjà élevée à 47,085 tonnes, soit presque sept fois autant. Sur ces 47,085 tonnes 36,315 ont été obtenues avec du coke seul.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'économie résultant de la substitution du coke au charbon de bois et, comme conséquence, la réduction du prix de revient des fontes spathiques aciéreuses, a contribué et contribuera encore au développement de plus en plus considérable de la fabrication des aciers puddlés et Bessemer.

Si l'on considère que ces aciers n'ont pu être obtenus avec succès, du moins jusqu'à ce jour, qu'au moyen des fontes aciéreuses, et que la consommation de ces mêmes aciers s'accroît de jour en jour, l'on ne peut méconnaître qu'au point de vue économique et pratique, les perfectionnements apportés en Prusse à la production des fontes spathiques ne constituent un progrès des plus saillants et d'une importance majeure.

La production des aciers était la suivante :

	Tonnes.		Tonnes.	
En 1855 on a produit	10,726	acier brut et	4,344	acier fondu.
En 1865 —	29,864	—	63,950	—
Soit ensemble : en 1865 acier brut et fondu.			93,814	
— 1855		—	15,070	
Différence.....			78,744	

Ainsi donc en dix ans la production des aciers a sextuplé en Prusse.

La valeur de ces 93,814 tonnes produites en 1865 s'élevait à environ 57 millions de francs, en estimant les aciers bruts à 300 francs la tonne et les aciers fondus à 800 francs.

Le siége principal de cette fabrication se trouve aujourd'hui près des houillères de la Ruhr et dans les régences de Dusseldorf et d'Armsberg.

La fabrication des aciers naturels au charbon de bois, qui n'employait que les fontes manganésifères de Nassau, diminue de jour en jour davantage ; ces fontes se transportent aujourd'hui dans les environs de Hagen, près des houillères, pour être transformées en acier par le puddlage à la houille.

Nous ne terminerons pas ces considérations sans exprimer nos bien sincères remercîments à notre savant collègue

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Bluhme, conseiller supérieur des mines à Bonn, qui a bien voulu nous fournir des renseignements très-précieux sur l'industrie des fers et aciers en Prusse.

En tenant compte des progrès étonnants réalisés en si peu de temps par l'industrie des aciers en Prusse, on comprendra facilement que, parmi les Exposants de ce pays, un fabricant d'acier ait obtenu une haute récompense.

§ 1. — Usine Krupp.

Le nom de ce fabricant est du reste assez connu pour être désigné d'avance à l'unanimité par tous ceux qui sont tant soit peu au courant de l'industrie dont nous nous occupons en ce moment. Ce nom, c'est celui de M. Alfred Krupp, à Essen, en Westphalie (qui, pour honorer la mémoire de son père, a toujours conservé la raison de commerce de Frédéric Krupp).

M. Krupp possède incontestablement, pour la fabrication des aciers, le plus colossal établissement qui soit au monde. Il occupe 10,000 ouvriers, et en 1866, sa production en acier fondu au creuset s'est élevée à 62,500,000 kilogrammes ou 62,500 tonnes (1), représentant une valeur au delà de 37 millions et demi de francs. Il consomme journellement un million de kilogrammes de houille pour la fabrication des aciers fondus; dans ce chiffre n'est pas comprise la quantité considérable de coke qu'il lui faut pour la production des fontes spathiques nécessaires à la fabrication des aciers fondus.

Les ateliers sont réunis entre eux par des voies ferrées d'une longueur de 27 kilomètres et demi, desservies par 6 locomotives et 200 wagons. L'établissement occupe une étendue de 204 hectares dont 52 couverts de toitures. A l'Exposition de Londres, en 1851, M. Krupp avait exposé un lingot d'acier

(1) Plus que la production totale de l'Angleterre en acier fondu au creuset qui n'est que de 60,000 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fondu de 2,000 kilogrammes, qui faisait l'étonnement de tous les métallurgistes. En 1855 il exposait un lingot de 5,000 kilogrammes; en 1862, un de 20,000, et à l'Exposition actuelle un de 40,000 kilogrammes.

Rien ne prouve mieux la puissante installation de la fabrique d'Essen que la production de pièces d'acier d'un tel volume ; mais il ne suffit pas de couler un lingot pareil, il faut aussi pouvoir le forger ; car c'est le martelage qui rapproche les molécules de l'acier et lui donne la qualité et le nerf que le lingot brut ne possède pas. Aussi a-t-il fallu établir, pour le forgeage de ces grosses pièces, un marteau-pilon du poids monstrueux de 50,000 kilogrammes avec une levée de près de 3 mètres. Malgré les fondations profondes et solides, malgré les proportions énormes données à tous les ouvrages de maçonnerie et de charpente dans son voisinage, l'ébranlement occasionné par chaque choc de ce formidable marteau se répand à une très-grande distance, et de tous les points de ce vaste établissement on remarque facilement si le gros marteau travaille ou se repose. On prétend que l'installation de ce marteau, qui a été construit entièrement dans l'usine même, a coûté à M. Krupp plus de 2 millions et demi de francs.

Un autre atelier très-remarquable est celui contenant 50 chaudières à vapeur; elles sont en acier fondu, ont 3 mètres de diamètre sur $8^{m}50$ de longueur et sont installées côte à côte. Chacune de ces chaudières a deux bouilleurs de 9 mètres de longueur et renferme un flotteur communiquant avec une longue aiguille d'acier, qui indique d'une manière sensible le niveau aux chauffeurs. Les bouilleurs sont groupés par séries, dont chacune est desservie par une pompe et par un injecteur.

M. Krupp, au lieu d'établir des chaudières à vapeur pour chaque machine, a préféré accumuler par massifs tous les générateurs, dont la production totale en vapeur se réunit dans un tube commun d'un mètre de section, se ramifiant en autant de branches qu'il est nécessaire pour alimenter les différents

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moteurs. Par des combinaisons particulières, on peut concentrer sur certains points jusqu'à 2,000 chevaux de force. Les chaudières se fabriquent également dans l'établissement même.

Il paraît que M. Krupp a établi dans ses usines 10 convertisseurs Bessemer, et qu'il s'en sert pour produire les aciers nécessaires à sa fabrication d'aciers fondus au creuset, en remplacement des aciers puddlés qu'il employait auparavant.

C'est probablement aussi par le procédé Bessemer que M. Krupp produit ses rails en acier fondu.

Une autre installation de M. Krupp mérite d'être signalée ici, car elle peut être appliquée avec fruit dans d'autres établissements. C'est le laboratoire de chimie, dans lequel trois chimistes sont constamment occupés à analyser les minerais, les houilles, les fontes, les fers et surtout à examiner chimiquement la composition et les propriétés des aciers produits. A chaque fourniture d'acier, presque à chaque lingot, on enlève un échantillon qui est soumis à l'analyse chimique qualitative ou même quantitative. On observe attentivement si les molécules aciéreuses sont assez denses pour résister à l'action de certains acides plus ou moins étendus, et si quelque fissure ne se trahit pas, sous l'influence oxydante des réactifs. A côté du laboratoire de chimie est le laboratoire de physique, dans lequel on essaie les qualités physiques de l'acier et surtout sa cohésion ; aussi chaque lot de fabrication doit donner à l'essai un petit fragment, avec lequel on forge un boulon qui est soumis à l'action d'une machine de MM. Greenwood et Bastley de Leeds.

En 1826, à la mort de son père, M. Krupp a commencé, à l'âge de quinze ans, sa carrière de fabricant, avec deux ouvriers et presque sans aucune fortune. La maison natale pieusement conservée, se trouve aujourd'hui englobée par les constructions gigantesques qui constituent l'aciérie d'Essen.

Lorsque l'on considère qu'un homme seul, sans ressources et sans associés, a pu parvenir, par son intelligence, son activité et son énergie, à créer un établissement aussi colossal que celui de M. Krupp, on est vraiment saisi d'étonnement et l'on éprouve

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une sincère admiration pour l'homme qui donne un si bel exemple à ses semblables. Aussi le nom de M. Krupp et sa mémoire resteront gravés dans le cœur de tous ceux qui savent apprécier les efforts inouïs qu'il a fallu faire pour parvenir à un tel résultat.

§ 2. — Autres usines de Prusse.

Société de Bochum (Westphalie). — Cette usine doit être comprise parmi les plus importantes qui existent pour la fabrication des aciers. Elle produit principalement les roues, bandages, ressorts, essieux et rails pour chemins de fer, ainsi que les cloches en acier fondu. La production mensuelle est d'environ 2,500 ressorts, 1,000 bandages, 1,000 essieux et 4,000 rails.

Tout récemment on y a ajouté un atelier considérable pour la fabrication des canons de tout calibre et pour les arbres de couche et autres grosses pièces de machines servant aux marines marchande et de guerre. Mais les produits les plus remarquables de cette usine sont ses fontes moulées en acier fondu, qui ont, du reste, pris naissance dans l'établissement de Bochum.

M. Meyer en est l'inventeur, et l'administration actuelle en a encore perfectionné les procédés. Les roues pleines en acier fondu que la société fournit aux Compagnies des chemins de fer sont simplement coulées au creuset et n'ont subi aucun martelage ni laminage. Il paraît que ces roues possèdent une grande dûreté et en même temps une grande ténacité; c'est-à-dire qu'elles résistent parfaitement à l'usure et au choc.

La Société a 20,000 de ces roues (1) roulant actuellement sur les chemins de fer, et chacune d'elles peut parcourir 12,000 *meilen* (88,896 kilomètres) avant d'avoir besoin d'être tournée.

(1) Nous avons eu sous les yeux plusieurs commandes originales de ces roues moulées, adressées à Bochum, d'une importance des plus considérables.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En effet, il ressort d'un tableau relatant les expériences faites sur le chemin de fer de Cologne à Minden, que les roues pleines ont pu parcourir en moyenne 17,455 *meilen* ou 129,306 kilomètres, avant d'avoir été tournées pour la première fois, tandis que les roues avec bandages en acier fondu au creuset avaient été tournées après un parcours de seulement 15,108 *meilen* ou 111,920 kilomètres. Les roues pleines de Bochum, d'après les mêmes essais, ont duré généralement de trois à cinq fois plus longtemps que les roues avec bandages en acier puddlé.

A l'Exposition se trouvent 22 roues, coulées d'un jet les unes au-dessus des autres et tenant ensemble par les moyeux. Le poids de cette pièce moulée est de 10,000 kilogrammes et prouve plus que toutes les paroles ne pourraient le faire, l'excellence de l'installation, la supériorité des moyens de fusion et de moulage. Ce sont toutefois les cloches en acier fondu qui les premières ont fait connaître et apprécier la fonte d'acier moulée de Bochum. Pour l'Exposition actuelle, la Société en a envoyé quatre, dont une du poids de 14,750 kilogrammes. Mais la pièce la plus curieuse de son exposition et qui montre bien la perfection à laquelle Bochum a porté le moulage, c'est un cylindre à vapeur pour locomotives, avec les canaux (conduits) pour la vapeur, coulé en acier fondu d'une seule pièce. La Société, qui possède deux appareils Bessemer, ne les a encore employés que pour la fabrication des rails, parce qu'elle prétend que le procédé Bessemer n'offre pas, jusqu'à présent, pour la fonte d'acier moulée, les garanties de qualité et de réussite nécessaires, et que la différence entre les prix de revient des aciers fondus au creuset et des aciers Bessemer n'est pas encore assez grande pour motiver un changement dans sa fabrication. Bochum occupe environ 2,500 ouvriers. Cette usine, quoique d'une importance moindre, est néanmoins la rivale la plus sérieuse de l'établissement de M. Krupp.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous ajoutons ici quelques prix des divers produits de Bochum :

Une paire de roues en acier moulé, montées sur leurs essieux en acier fondu, avec des moyeux en fer forgé.	F.	750
Un canon en acier fondu, calibre prussien, 4; achevé, sans affût	F.	1820
Cloches, depuis 150 jusqu'à 25,000 kilogr., les 100 kil.		80
Acier Bessemer, rails, les 100 kilogr.		40
Bandages pour locomotive en acier fondu au creuset		105
— tender		90
— wagons		82 50
Essieux pour locomotives en acier fondu au creuset		112 50
— tender		97 50
— wagons		90

Bochum a concédé son procédé pour couler l'acier fondu dans des moules, en France, à MM. Holtzer, Dorian et C^ie^, et en Angleterre à MM. Naylor, Wickers et C^ie^.

Le secret de ce moulage consiste principalement dans un mélange convenable de terre réfractaire et de sable ; aussi, en dehors des deux concessionnaires que nous venons de nommer, bien d'autres fabricants d'acier se livrent actuellement avec succès au coulage des fontes façonnées en acier fondu. Mais on peut hardiment affirmer que pour cette branche d'industrie, Bochum dépasse de beaucoup tous ses rivaux.

Konigshütte (en Silésie). — Cette usine appartient à l'État, et produit principalement du fer ; mais nous la mentionnons, d'abord parce qu'elle a été la première qui ait introduit le procédé Bessemer en Prusse, et ensuite, parce que c'est un établissement où l'on s'efforce de résoudre pratiquement et scientifiquement les problèmes qui se présentent si souvent dans l'industrie des fers et aciers. Si l'on y trouve une amélioration ou un perfectionnement, on les communique avec la plus grande libéralité à tous les autres établissements. En lui accordant ici cet éloge bien mérité, nous tenons à exprimer en même temps toute notre reconnaissance pour l'empressement que la Konigshütte a mis à nous fournir, sur l'industrie des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ters et aciers, tous les renseignements que nous avons pris la liberté de lui demander.

Cette usine présente, du reste, une particularité assez curieuse, digne d'être mentionnée, parce qu'elle peut être utilisée dans certaines circonstances.

Le haut fourneau de la Konigshütte étant à une distance de 300 mètres des convertisseurs, on a établi un petit chemin de fer pour remédier à cet inconvénient. Du haut fourneau, la fonte liquide est coulée dans une grande tourtière ou poche, qu'on élève ensuite par une grue et qu'on dépose sur un wagon spécial du chemin de fer; un cheval transporte le tout rapidement vers les convertisseurs. Là un élévateur hydraulique porte la tourtière au-dessus du conduit allant d'un four à réverbère au convertisseur. On ouvre la soupape disposée à la partie inférieure de la tourtière, et la fonte liquide coule dans le convertisseur exactement comme si elle sortait du four à réverbère.

Toute cette manipulation, y compris le transport, exige de 15 à 20 minutes; mais, malgré cela, la fonte versée dans le convertisseur est encore plus chaude que si elle venait du four à réverbère, et il ne se produit jamais des adhérences de fonte solidifiée sur les parois de la tourtière.

Usine de Hörde (Prusse). — Hörde est une des plus grandes forges de fer (sinon la plus grande) de la Prusse, elle occupe 4,300 à 4,400 ouvriers.

Cette usine produit annuellement environ 60,000 tonnes de fontes brutes, et en achète encore environ 30,000. Toute cette fonte est transformée dans l'usine même.

Mais, à côté de sa production de fer, elle produit également les aciers fondus par le procédé Bessemer et les aciers puddlés.

En un mot, c'est une usine qui possède une fabrication multiple et largement développée, et l'on peut dire qu'elle est dirigée, dans toutes ses parties, avec une intelligence rare et des connaissances techniques peu communes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Peter Harkort et fils, à Wetter-sur-Ruhr, produisent des fers, des aciers puddlés, des aciers cémentés, raffinés, bruts et des aciers fondus.

Leurs produits jouissent d'une excellente réputation et se vendent à des prix très-modérés; leurs tôles, en acier fondu, sont surtout très-appréciées et s'emploient beaucoup pour la fabrication des chaudières à vapeur. D'après M. Harkort, les chaudières d'acier, étant plus denses et plus lisses, s'incrustent moins et produisent environ 22 à 25 pour 100 plus de vapeur.

Une chaudière en acier achevée revient à 1,350 francs les 1,000 kilogrammes, tandis qu'une chaudière en fer ne coûte que 584 francs les 1,000 kilogrammes. Par contre, la première ne pèse que 2,921 kilogrammes, tandis que la pareille en fer péserait 4,487 kilogrammes. Par conséquent, la chaudière en acier revient à 1,323 francs plus cher, mais produit un cinquième de vapeur de plus.

MM. Berger et C^ie, à Witten-sur-Ruhr.— Cet établissement ne produit pas d'autres aciers que l'acier fondu au creuset, et il s'applique principalement à ne fabriquer que des aciers servant au matériel de guerre, gros canons, canons de fusil, etc. Les canons de fusil qu'on y fabrique se vendent dans tous les pays où les droits trop élevés n'y mettent pas obstacle. Les certificats que nous avons sous les yeux et qui émanent de divers pays, Russie, Suisse, Espagne, Belgique, Autriche, démontrent que les canons de fusil de MM. Berger et C^ie sont d'une qualité parfaite et très-appréciée. Ils déclarent, du reste, avoir été les premiers à fabriquer des canons de fusil en acier fondu.

La production totale et annuelle de l'établissement s'élève à 2,000 tonnes, et 400 ou 500 ouvriers y sont employés.

Heinrichshütte (près de Hattingen-sur-Ruhr). — Cette usine est une des plus importantes de l'Allemagne. Elle occupe de 3,000 à 3,500 ouvriers, et sa production annuelle peut s'élever à environ 10 millions de francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Elle possède des mines de houille à proximité de l'usine, et des mines de fer contenant des minerais spathiques.

La production principale de cette usine consiste en fontes brutes et moulées, fers, tôles, rails, etc., etc.

Si nous la citons ici, c'est pour sa production des fontes aciéreuses, qu'elle fournit aux usines qui s'occupent du puddlage des aciers.

Nous croyons de notre devoir de mentionner aussi d'une manière spéciale les usines suivantes qui s'occupent de la production des fontes aciéreuses, et dont les produits ont figuré à l'Exposition : elles se sont toutes distinguées par des perfectionnements apportés à la marche de leurs hauts fourneaux.

Ces perfectionnements, tout en maintenant la bonne qualité des fontes, en ont augmenté le rendement et ont en même temps permis de réaliser une notable économie de combustible.

Ces usines sont celles de :

Heinrich Dresler aîné, à Siegen. Cet industriel possède des mines, hauts fourneaux et de nombreux fours à puddler;

La *Société anonyme de Coln-Musen*, qui produit déjà au delà de 15,000 tonnes de fontes miroitantes (1) ;

Kreutz (Charlottenhütte), à Siegen, dont la production est de 10,000 tonnes de fontes miroitantes (2) ;

Meurer (Wissmerhütte), qui possède deux hauts fourneaux, produisant chacun 35,000 kilogrammes par 24 heures;

M. le comte de *Furstenberg* (à Burgholdinghausen) produit encore des fontes au charbon de bois.

(1) Cette usine vend ses fontes spathiques, au coke, la tonne, à 127 fr. 50 c.
Les mêmes, produites au charbon de bois, à..... 157 50
L'acier puddlé, première qualité, à..... 270 »
Id. seconde id., à..... 247 »

(2) Le prix des fontes spathiques, prises à l'usine, est de 130 francs la tonne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. *Fromberg et Wildt* (à Hermannshütte, près Neuwied) livrent environ 6,000 tonnes de fontes spathiques par an.

L'usine *Georg Marien*, à Osnabrück, expédie de ses fontes à Henry Bessemer, à Sheffield, en Angleterre (l'inventeur du procédé Bessemer).

Voici les prix auxquels cette usine vend ses fontes :

Fonte grise.....	La tonne	100f
— miroitante.....	—	101 50
Fonte blanche miroitante.....	—	112 50
— pour l'acier Bessemer, 1re qualité....	—	127 50
— — — 2e —	—	110 60

CHAPITRE IV.

FABRICATION DE L'AUTRICHE.

Si l'Autriche n'a pas développé son industrie aussi largement que la France, l'Angleterre et la Prusse, il ne faut pas en accuser le manque d'efforts ou d'habileté de ses maîtres de forges, mais bien une série de circonstances malheureuses qu'il a fallu subir, puisqu'on était impuissant à les conjurer. Les maîtres de forges de l'Autriche, au contraire, luttent avec une rare énergie et une grande intelligence, pour rivaliser en tout point avec la concurrence étrangère.

On y a perfectionné les hauts fourneaux, en modifiant les anciens et en en construisant de nouveaux, qui donnent maintenant un rendement plus grand et meilleur. On a utilisé la chaleur perdue et les gaz de ces hauts fourneaux pour chauffer le vent, griller les minerais, produire de la vapeur pour les machines soufflantes, etc. Nous avons été à même de constater que presque tous les perfectionnements dont l'industrie des fers a été l'objet ailleurs ont été appliqués en Autriche.

Six grandes usines s'occupent déjà, depuis quelques années,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la fabrication des aciers Bessemer ; elles produisent, ou plutôt elles peuvent produire 32,000 tonnes par an. Les aciers Bessemer, exposés par l'usine impériale de Neuberg, présentaient un grain d'une homogénéité et d'une ténacité qui pouvaient rivaliser parfaitement avec les meilleurs spécimens des aciers Bessemer envoyés par la Suède. Une forge autrichienne (Kapfenberg), appartenant aux frères Franz et Rudolph Mayr, possède déjà des fours à gaz (générateurs Siemens), pour le puddlage des aciers. Il n'est pas à notre connaissance que cette innovation ait déjà été appliquée dans un autre pays, à l'exception de la France, où M. Verdié expérimente en ce moment ce nouveau mode de fabrication.

Malheureusement, l'Autriche, si riche en excellents minerais de fer, est pauvre en combustible minéral. Si ses houillères étaient aussi abondantes et aussi bonnes que ses mines de fer, l'Autriche serait peut-être la première puissance métallurgique du monde. Mais l'Autriche possède encore une immense richesse forestière, et, en Europe, il n'y a que la Russie ou la Suède qui, sous ce rapport, puissent rivaliser avec elle. On y trouve aussi de nombreux gisements de lignites, et même de très-bons lignites qui, par leur qualité supérieure, se rapprochent de très-près de la houille.

Les mines de fer se trouvent en Styrie, Carinthie, Hongrie, et Transylvanie. Les houillères se rencontrent en Bohême, Moravie, Silésie, à Cracovie et en Hongrie. Les lignites s'exploitent en Bohême, Moravie, Styrie, Hongrie, Galicie, dans la Haute et Basse Autriche et en Transylvanie.

Mais les houilles de bonne qualité étant très-éloignées des meilleurs minerais, il en est résulté que la production des fers au coke n'a jamais pu atteindre en Autriche un accroissement rapide et considérable, comme cela a eu lieu en France, en Allemagne et en Angleterre. En outre, plusieurs des bonnes houillères sont la propriété de quelques compagnies de chemins de fer et de navigation, qui gardent pour elles-mêmes ce qui s'extrait de meilleur. Cette circonstance augmente encore

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour les forges la difficulté de s'approvisionner en houille. Il est possible que la découverte de nouveaux gisements houillers, ou l'emploi plus avantageux des lignites à la fabrication des fers, change cet état de choses; cependant, si cet espoir ne devait pas se réaliser, et si l'industrie métallurgique autrichienne continuait à se mouvoir dans les conditions actuelles, nous croyons que sa part resterait néanmoins encore assez belle pour qu'elle puisse s'en contenter.

En effet, ses minerais spathiques et ses minerais rouges manganésifères sont d'une extraction facile et peu coûteuse et rendent de 42 à 55 pour 100. Les nombreuses forêts situées dans le voisinage des hauts fourneaux fournissent le charbon relativement à bon marché ; et certes il faudra encore longtemps avant que l'augmentation des prix du bois puisse peser d'une manière trop sensible sur les prix de revient du fer et de l'acier.

Les maîtres de forges, par les améliorations apportées à la marche des hauts fourneaux et par l'utilisation de la chaleur perdue, sont d'ailleurs parvenus à épargner presque 1/3 du combustible, tout en doublant la production des fontes. Mais il ne suffit pas toujours de fabriquer à bon marché, il faut aussi produire de bonnes qualités. Eh bien, il est certain que les fontes fabriquées au charbon de bois sont meilleures que celles produites au coke, et les aciers et les fers qu'on en fait en Autriche sont classés parmi les meilleurs de n'importe quel pays. En effet, la bonne qualité de la fonte et sa régularité, résultant des bons minerais et de l'emploi du charbon de bois, permettent aux maîtres de forges autrichiens de prendre directement, au haut fourneau, les fontes destinées à être converties en acier par le procédé Bessemer. Il est donc très-probable que la fabrication des aciers Bessemer y prendra une certaine importance, précisément à cause de la pureté et de la supériorité des fontes. Pour les rails, ressorts, arbres de transmission, essieux, pièces de machines, etc., ces aciers conviennent parfaitement.

Les tôles Bessemer, de différents exposants autrichiens, ont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

été fort remarquées ; elles sont très-lisses et de bonne qualité ; en s'appliquant à les produire à bon marché, les maîtres de forges en exporteraient certainement de grandes quantités pour la fabrication de beaucoup d'ustensiles. La production de l'acier fondu moulé, qui a été jusqu'à ce jour presque nulle en Autriche, trouverait dans les minerais spathiques de la Styrie une matière première des mieux appropriées pour ce genre de fabrication.

Les cloches, les roues de wagon, les pignons, les engrenages, ustensiles, etc., etc., qui se trouvaient à l'Exposition, se distinguaient par leur grande ténacité et leur forte résistance. Ces objets démontrent clairement que cette branche d'industrie est encore susceptible d'un énorme développement, si l'on s'applique à produire ces fontes d'acier à des prix qui ne soient pas trop disproportionnés avec ceux des fontes de fer. A la vérité, lorsque la production du fer et de l'acier a lieu au moyen du charbon de bois, les prix de ce combustible et, partant, ceux des fers et des aciers, s'élèvent au fur et à mesure que cette production augmente, parce que les forêts s'éclaircissent d'année en année et produisent d'autant moins qu'on les exploite davantage. Il n'en est pas de même quand on fabrique les fers et aciers au moyen de la houille ; les bassins houillers non-seulement suffisent actuellement à tous les besoins de l'industrie, mais on dirait qu'on les regarde comme inépuisables, car plus on en consomme, plus on en extrait. Les prix de ce combustible n'éprouvent donc que des variations peu importantes, malgré l'accroissement de la consommation.

Il résulte de ce qui précède que plus les forges, réduites à travailler au charbon de bois, se développent, plus leur fabrication renchérit, et ce développement se trouve même arrêté lorsqu'il atteint une certaine limite. Au contraire, pour les forges employant la houille, le développement n'est pas gêné par le combustible : plus elles augmentent leur production, plus elles produisent à bon marché et mieux elles peuvent réduire leur prix de vente. Il n'y a pour elles d'autres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

limites que les besoins de la consommation. Aussi n'est-il pas douteux qu'à ce point de vue la position des maîtres de forges anglais, belges, français et prussiens ne soit meilleure que celle des maîtres de forges de l'Autriche. Mais, un pays, pas plus qu'un individu, ne peut posséder tous les avantages; et le meilleur conseil à donner à l'Autriche, c'est de faire valoir de son mieux les richesses naturelles dont elle a été si largement dotée.

Cependant, s'il nous était permis de donner notre avis à cet égard, nous conseillerions :

1° D'établir des chemins de fer mettant les bassins houillers en communication avec les mines de fer, afin de pouvoir transporter à peu de frais les minerais près des houilles, et *vice versa* (1). Les forges, rapprochées de cette manière des houillères, seraient à même de se développer et de se consolider tout aussi bien que les forges anglaises et françaises, car ce que la qualité des houilles laisserait encore à désirer en Autriche serait amplement compensé par l'excellence et la richesse des minerais. D'ailleurs, depuis l'invention des fours à gaz Siemens, qui sont chauffés très-bien avec de la houille menue et de moindre qualité, cette question perd beaucoup de son importance;

2° De s'appliquer à produire les aciers Bessemer à très-bas prix, ce qui peut avoir lieu, même en employant des fontes au charbon de bois, puisque la pureté de ces fontes permet de les couler directement du haut fourneau dans les convertisseurs.

Les fontes, produites dans des hauts fourneaux avec du coke de qualité inférieure, pourraient probablement se transformer

(1) Il y a une ligne de fer en construction (elle est en partie déjà ouverte et ne tardera probablement plus longtemps à être entièrement achevé) qui reliera la Styrie et la Carinthie au bassin houiller de *Funfkirchen* (Hongrie); mais pour compléter cette ligne il faudrait encore construire des embranchements qui partiraient du chemin de fer de Vienne à Trieste pour se diriger vers les principales usines. Le bassin de Fünfkirchen est un des plus riches de l'empire; il ne produit que de la houille menue, mais de bonne qualité. A la vérité, la distance à parcourir est grande (de 60 à 80 lieues), mais il faut espérer que les compagnies de ces chemins de fer comprendront que leur propre intérêt exige quelles transportent les houilles, minerais et fontes à des prix extrêmement réduits.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avantageusement en acier dans le four à réverbère de M. Martin, qui, permettant d'employer des combustibles de qualité inférieure, nous semble, surtout en Auchiche, devoir obtenir la préférence sur le procédé Bessemer (1). On peut d'ailleurs prendre les fontes directement du haut fourneau pour le four Martin tout aussi bien que pour les convertisseurs ;

3° De sortir de l'isolement actuel, de développer et de faciliter, par des tarifs de douanes plus modérés, les relations commerciales et l'échange des produits de l'Autriche avec ceux des autres pays.

La concurrence étrangère ne peut manquer de stimuler énergiquement et en fin de compte favorablement la fabrication indigène. Cette dernière en a réellement besoin ; car il résulte de l'examen des industries qui s'occupent de la transformation des métaux et de la comparaison des produits qu'elles ont envoyés aux quatre Expositions depuis seize ans qu'à peu d'exception près, on est loin d'avoir réalisé en Autriche des progrès aussi considérables que ceux accomplis dans les industries similaires par l'Angleterre, la France et l'Allemagne.

Si ces conseils pouvaient être suivis, et si les maîtres de forges autrichiens s'appliquaient à purifier et à améliorer leurs combustibles minéraux pour pouvoir les employer à la fusion des minerais et au finage, puddlage et étirage des fontes, fers et aciers, nous croyons que l'Autriche pourrait conserver sa grande industrie des fers et aciers *au bois,* et développer cependant largement, à côté d'elle, l'industrie des fers et aciers basée sur l'emploi du *combustible minéral.*

En examinant les tableaux statistiques de l'Autriche, nous trouvons qu'en 1865, la production totale des fontes brutes s'y est élevée à 4,623,517 quintaux viennois, soit 258,916 ton-

(1) On nous a dit qu'il existe entre M. Martin et M. Siemens une convention par laquelle ce dernier s'engage à se contenter d'une redevance de trois francs par tonne d'acier fondu produit, partout où le procédé Martin serait introduit.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nes, d'une valeur de 31,247,483 francs, ce qui met le prix moyen de la tonne à 120 fr. 50 cent.

La production de la fonte moulée était de 597,254 quintaux viennois ou de 33,446 tonnes, d'une valeur de 8,053,346 fr., ce qui met le prix moyen de la tonne à 246 fr. 50 cent. La production totale de la fonte brute et moulée s'élève donc à 292,362 tonnes. En considérant maintenant que l'Autriche possède une population de 33 millions d'habitants, il s'ensuit que pour chaque habitant il s'y produit 8 kil. 86 de fer. C'est bien peu, et cette faible consommation du fer, prouve clairement que l'Autriche est encore loin d'employer autant de fer que la France ou l'Angleterre, pour son industrie, ses chemins de fer, sa marine, etc. En effet, la France, avec une population de 36 millions d'habitants, a produit, en 1865, 1,200,320 tonnes, soit 33 kil. 33 par habitant, c'est-à-dire 4 fois plus que l'Autriche. L'Angleterre, avec une population de 29 millions d'âmes, produit 4,500,000 tonnes de fontes brutes, soit 155 kilogrammes par habitant, presque 5 fois autant que la France et 17 fois 1/2 de plus que l'Autriche.

Nous n'avons pas tenu compte de l'importation et de l'exportation, pas plus que du stock de chaque pays ; du reste, ils n'auraient pas apporté de grands changements aux chiffres cités. En constatant une telle infériorité dans la production des fers en Autriche, on est disposé à croire qu'il faut en attribuer la cause non-seulement à l'industrie des fers, mais peut-être plus encore à la manière générale de vivre de toute la population. Cependant, une telle appréciation n'étant plus de notre ressort, nous laissons à de plus compétents que nous la tâche d'en examiner le mérite et la valeur.

Frantz de Mayr, à Leoben (Styrie).— Placer M. de Mayr à la tête des exposants autrichiens, c'est indiquer que nous le considérons comme l'un des industriels les plus distingués de ce grand empire. Il a traversé victorieusement des années bien difficiles, et, dans un temps où presque toutes les forges tra-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vaillaient à perte, son établissement réalisait encore des bénéfices. C'est que M. de Mayr a plusieurs cordes à son arc : il fabrique non-seulement l'acier et le fer dans toutes les dimensions, mais il produit encore tous les fers spéciaux pour constructions, pièces de machines, bandelettes, fils de fer, tôles, aciers bruts, puddlés, raffinés, cémentés et fondus, tôles pour scies, ressorts de toute espèce, etc. Il est propriétaire de diverses mines de fer et de plusieurs houillères, ou plutôt d'exploitations de lignites. Il a acheté une licence de M. Martin et vient de construire, le premier en Autriche, un four pour fabriquer l'acier fondu et le fer homogène d'après ce procédé. M. de Mayr occupe plus de 1,000 ouvriers, pour le bien-être desquels il déploie la plus vive et la plus intelligente sollicitude ; il leur a construit des logements séparés ; il leur donne un certain terrain à cultiver ; il a établi des écoles pour les enfants et des caisses de secours pour les malades. Aussi, n'y a-t-il pas de doute que ce soient l'entendement, l'ordre et l'intelligence avec lesquels M. de Mayr a organisé l'administration de ses nombreuses usines, qui lui aient valu ses succès industriels.

Ayant eu l'honneur de faire sa connaissance personnelle à l'Exposition, nous avons bientôt été à même de reconnaître en M. de Mayr un fabricant connaissant non-seulement les moindres détails de son industrie, mais possédant encore cette vive intelligence commerciale, si nécessaire à tous les manufacturiers.

Administration I. R. de Neuberg (Styrie). — Cette usine appartenant à l'Etat, produit les fontes, fers et aciers ; au point de vue technique, ses moyens de fabrication peuvent servir de modèle aux autres forges. On y met en pratique les perfectionnements et les améliorations qui paraissent avantageuses, et l'usine s'ouvre avec une grande libéralité à tous ceux qui désirent la visiter.

Il y a deux hauts fourneaux de 43 pieds de hauteur, mar

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chant au charbon de bois et pouvant produire annuellement 5,000 tonnes fontes brutes, très-noires, ou 10,000 tonnes fontes brutes blanches. Le procédé Bessemer y fonctionne avec deux convertisseurs contenant l'un trois, l'autre quatre tonnes, et pouvant produire 8,000 tonnes lingots acier fondu, par an. L'usine renferme de plus, différents trains de laminoirs, marteaux-pilons, martinets, machines à vapeur, fours à puddler double et simple, fours à réchauffer, à souder, soufflerie, etc. L'acier Bessemer, produit à Neuberg, se vend principalement aux chemins de fer sous forme de rails, bandages, essieux, tôles pour chaudières à vapeur. On en fournit aussi aux fabricants de faulx et de limes. En 1866, Neuberg a livré les matières premières nécessaires pour construire 60 locomotives, dont toutes les pièces étaient faites en acier Bessemer.

Neuberg vend les aciers Bessemer :

En lingots, les 100 kilogrammes	pris	à	l'usine.	30 fr.	60 c.
acier étiré,	—	—	de 40 à	56	»
tôles,	—	—	de 46 à	60	»
bandages,	—	—		64	»

Ces prix sont assez élevés ; mais on y a fait entrer peut-être les frais d'agio sur l'argent, qui sont aujourd'hui de 15 à 20 pour 100. La forge occupe 900 à 1,000 ouvriers et environ 500 bûcherons : les ouvriers gagnent en moyenne 54 francs par mois, et les bucherons 43 francs. Ces salaires nous paraissent bien bas pour des ouvriers d'une grande forge ; en France, les ouvriers de cette catégorie gagnent presque le double. La production annuelle de l'usine s'élève à environ 2 millions de francs.

Le *prince de Schwarzenberg*, à Murau (Styrie), possède à Turrach des mines de fer renfermant des minerais spathiques très-riches en manganèse, rendant de 35 à 45 pour 100, et donnant des fontes truitées d'une excellente qualité. Sa production annuelle en fontes brutes est d'environ 4,500 tonnes,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui sont transformées en fontes moulées, fers et aciers. Le nombre des ouvriers occupés dans les usines, y compris les bûcherons, charbonniers, etc., peut s'élever à 1000. On y produit l'acier Paal, un acier brut naturel qui, par ses bonnes qualités, trouve un placement facile dans divers pays de l'Europe, principalement en Suisse. Son nom lui vient d'une petite localité près de Turrach. C'est aussi au haut fourneau de Turrach que le premier appareil Bessemer a été appliqué en Autriche. La production des aciers Bessemer peut s'élever à peu près à 1,000 tonnes par an. On les emploie couramment pour tôles, plaques de blindage, arbres coudés, essieux, chaînes, etc.

L'acier Bessemer produit à Turrach est tellement malléable qu'on en fait des tôles aussi minces que le papier le plus fin ; à tel point que 4,000 feuilles placées l'une sur l'autre n'atteignent qu'une épaisseur de 12 lignes, soit 2 centimètres et demi.

Les belles tôles exposées par la *Johann-Adolfshutte* de Iudenbourg sont en acier Bessemer de Turrach.

La production des diverses usines du Prince peut se résumer comme suit :

340	tonnes	fonte moulée.
220	—	acier Paal.
840	—	— corroyé.
670	—	de fer.
1.000	—	acier Bessemer.
3.070		

Le prince possède encore un haut fourneau à Vordernberg (Styrie), produisant de 2 à 3,000 tonnes par an, et qui fait partie de la Société Radmeister.

Des tourbières d'une grande étendue et une mine de lignites font également partie des diverses usines appartenant au prince ; elles pourront être utilisées en cas d'agrandissement ou de développement de la production actuelle.

Le *chevalier de Fridau*, à Vienne. M. de Fridau possède

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un certain nombre d'établissements situés en Styrie et dans la Carinthie; il est en même temps propriétaire d'une mine de houille et d'une grande étendue de forêts qui lui assurent les bois nécessaires pour la marche de ses hauts fourneaux. Sa principale production consiste dans la fonte brute; il en produit par an environ 10,000 tonnes, d'une valeur de 1,600,000 francs, soit à peu près le cinquième des fontes de toute la Styrie.

Ses deux mines de houille, à Munzenberg et Gradaz, produisent par an environ 46,000 tonnes de houille, représentant, à 15 francs la tonne, une valeur de 690,000 francs; c'est encore à peu près le cinquième de la production totale de la Styrie en houille.

A Gradaz, on coule des projectiles en fonte dure qui surpassent, à ce qu'il paraît, ceux en acier fondu.

Il ressort d'un procès-verbal inséré dans les Archives de la Marine d'Autriche que le 9 avril 1867, on a essayé à Pola des projectiles creux provenant de l'usine de Gradaz. Ces essais ont eu lieu dans les conditions suivantes : la première condition exigée était que ces projectiles traversassent les plaques de blindage sans être endommagés ou détériorés eux-mêmes ; ce qui fait supposer, surtout pour des projectiles creux, l'emploi d'une fonte exceptionnelle. Pour faire ces essais on ne mit pas de poudre dans les boulets, et l'on se servit d'un canon Krupp, en acier fondu, de 0^m208 millimètres d'âme ou d'ouverture, se chargeant par la culasse; le boulet avec ses ailettes de plomb pesait 90 kilogrammes. La charge de poudre était de 9 kilogrammes; la distance entre le canon et la plaque, de 2 encâblures. Cette cible, qui représentait une paroi de navire, avait une épaisseur de bois au minimum de 0^m768, et était construite en bois de chêne. La plaque de blindage avait une épaisseur de 0^m117; à l'entour d'elle se trouvaient 8 petites plaques de 0^m108 d'épaisseur. On a tiré six coups, et 4 boulets ont traversé la plaque principale de 0^m117 d'épaisseur ainsi que la paroi en chêne,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sans que les boulets en aient été endommagés ou détériorés. Les deux autres boulets ont traversé 2 des 8 plaques qui entouraient la plaque du milieu et sont également restés intacts. Il est dit dans le procès-verbal qu'un tel résultat n'a encore été obtenu dans aucun pays (1).

Le fait que nous venons de citer est d'une importance considérable pour les armements de la marine; car, s'ils sont exacts, et nous avons tout lieu de le croire, il est évident que les plaques de blindage actuelles ne présentent plus une garantie suffisante contre les projectiles. Il faut donc chercher à faire des cuirasses présentant assez de résistance pour ne plus être traversées par les boulets. En se livrant sérieusement à ces recherches, nous croyons que l'on pourra aboutir à un résultat satisfaisant, et la chose en vaudrait la peine, car pour cuirasser un seul vaisseau il faut de 850 à 1,500 tonnes de plaque de blindage, valant de 925 à 950 francs la tonne prise à l'usine, soit un million de francs par navire.

Les boulets dont on se sert aujourd'hui pour percer ces cuirasses pèsent jusqu'à 500 kilogrammes la pièce.

Compagnie du chemin de fer du Sud, à Gratz. — Cette Compagnie a construit, en 1861, une grande usine pour y convertir les vieux rails en nouveaux. Dans l'espace de cinq ans elle y a produit 700 tonnes de rails neufs, dont 600 tonnes avaient le champignon ou la partie supérieure du rail, en fer à grain, et 100 tonnes de cette même partie, en acier Bessemer. En 1863, elle a construit une usine pour la fabrication des aciers Bessemer. Elle possède deux convertisseurs contenant 3 tonnes et demie chacun. Ces aciers sont destinés à la fabri-

(1) Nous venons de recevoir de M. de Fridau, une lettre par laquelle il nous fait part de nouveaux essais qui ont eu lieu le 20 septembre, à Pola avec le même succès que les précédents. Il nous assure que ses projectiles creux traverseront aussi facilement des plaques de 15 centimètres que celles de 12, et qu'il a même offert à la marine d'Autriche de percer avec ses boulets des plaques de 6 et 10 pouces d'épaisseur.

M. de Fridau ne pense pas que nulle part ailleurs on ait encore produit des projectiles aussi durs et aussi tenaces que les siens.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cation de rails, soit tout acier Bessemer, soit seulement aciérés d'acier Bessemer; on y produit également des essieux, bandages, etc. L'usine occupe environ 500 ouvriers.

Compagnie des chemins de fer de l'Est, à Vienne. — Cette Compagnie possède des usines considérables dans le Banat; elle a produit, en 1866, 28,000 tonnes de fer et d'acier. En 1862, elle ne produisait que 14,000 tonnes fontes et fers et 450 tonnes acier. En 1866 elle a produit 25,000 tonnes fontes et fers, et 2,800 tonnes aciers puddlés en barres et ouvrés. Elle possède trois hauts fourneaux marchant au coke, et cinq au charbon de bois. Elle construit en ce moment une usine pour la fabrication des aciers Bessemer à deux convertisseurs de cinq tonnes chacun.

La *Société Rauscher*, à Saint-Vit, en Carinthie. — L'usine *Heft* possède d'excellents minerais spathiques, qu'elle emploie pour la production des aciers Bessemer, dont la bonne qualité a beaucoup contribué à faire apprécier favorablement ce métal par les consommateurs.

Le haut fourneau produit en vingt-quatre heures de 11,200 à 16,800 kilogrammes fonte grise, et de 25,200 à 33,040 kilogrammes fonte blanche et truitée. Le vent est fourni par trois cylindres de 4 pieds de diamètre, d'un effet utile de 65 pour 100, et fournissant par minute 60.04 mètres cubes. Les gaz du haut fourneau servent à surchauffer l'air de la soufflerie, à alimenter les fours à gaz suédois pour griller les minerais et à conserver entre deux charges la chaleur des chaudières qui font marcher les machines soufflantes de l'appareil Bessemer.

La production de l'acier Bessemer s'est élevée :

en 1864, à	196,423	kilogrammes.
en 1865, à	721,463	—
en 1866, à	,378,938	—

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Baron Dickmann, à Lölling en Carinthie. M. le baron Dickmann possède trois hauts fourneaux avec six exploitations de minerais spathiques et manganésifères, qui rendent bruts 42 pour 100 et grillés 50 à 51 pour 100. Ces minerais donnent d'excellents aciers et des fers fins de première qualité.

La production annuelle en minerais peut s'élever à 112,000 tonnes; celle de la fonte brute était, en 1858, de près de 16,000 tonnes; mais celle de 1865 n'était que de 3,000 : on espère toutefois qu'en 1867 elle remontera à 11,000 ou 12,000 tonnes. Voici quelle est la composition de ces fontes :

	CARBONE		Silicium	Phosphore	Soufre	Manganèse
	combiné	graphite				
Fonte grise.....	2.35	2.40	1.70	Trace.	0. 063	3. 42
Fonte grise, blanche, mélangée.....	3.25	0.80	0.63	—	0. 083	6. 82
Fonte miroitante.....	3.17	0.21	0.37	—	0. 110	7. 30

Les prix actuels de ces fontes, prises à l'usine, sont les suivants :

Fonte blanche et fonte truitée, les 100 kilog.. ..	12	80
— grise.....	14	60
— grise foncée.....	15.	60

La majeure partie des fontes brutes produites à Lölling sont affinées aux forges *Privalé*, appartenant également au baron de Dickmann.

Cette forge est alimentée presque exclusivement par les lignites de Liescha. Les fours à puddler, à souder, etc., ont été appropriés à ce combustible. Il en a été de même des fours à réverbère qui ont été tous transformés en fours à réverbères à gaz. Comme Privalé manquait de force hydraulique, on y a construit des machines à vapeur, alimentées par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les lignites : ces machines ont permis de produire, de 1853 à 1863, 100,000 tonnes de rails.

Nous sommes entré dans quelques détails au sujet des améliorations réalisées par cette forge, parce qu'elles nous paraissent dignes d'être méditées par les maîtres de forges de ce pays, où l'on tient peut-être un peu trop à conserver l'ancien mode de fabrication, quoique celui-ci, par l'enchérissement des bois, devienne d'année en année plus onéreux.

Usines I. R. de Jnnerberg (Styrie). — Cet établissement est composé de 7 hauts fourneaux, 14 fours à puddler, à souder, à étirer, etc., laminoirs, fonderie d'acier fondu, 32 martinets, etc.

Il produit :

56,000	tonnes	minerais.
22,500	—	fontes brutes.
1,500	—	acier raffiné.
560	—	— fondu.
700	—	— puddlé.

Il occupe 3,000 ouvriers.

Association Radmeister, à Vordernberg (en Styrie). — En 1858, cette Association a produit 38,248 tonnes de fontes brutes dont le prix de vente était, il y a deux mois, de 10 fr. 20 les 100 kilogrammes. Ce prix, à cause de l'agio de 15 à 20 pour cent sur l'argent, est regardé comme extrêmement bas, et malgré cela il ne se présentait pas d'acheteurs.

En 1863, cette production est tombée à 19,200 tonnes, par suite de la stagnation des affaires qui, malheureusement, pèse encore aujourd'hui sur cette industrie en Autriche.

L'Association occupe 1,000 ouvriers dans les mines et usines et 1,200 bûcherons et charbonniers, etc, etc.

Le comte *Henkel de Donnersmark* est propriétaire de la Hugohütte à Zettweg (en Haute-Styrie).

Il y produit en moyenne :

1,500 à 1,700 tonnes de blindages ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

5,000 à 6,000 tonnes de rails;
1,400 à 1,500 — de roues, soit 1,500 paires;
1,100 à 1,200 — de bandages.

En pleine marche, cette usine pourrait produire environ 16,000 tonnes de fer. Elle occupe 900 à 1,100 ouvriers.

Société anonyme à Storé (en Styrie). — Cette Société occupe 650 ouvriers et produit beaucoup de pièces de grosse forge, telles que : arbres pour navires, essieux, pièces de machines, tôles et plaques pour cuirasses de vaisseaux. Elle fait des plaques pesant jusqu'à 15,000 kilogrammes pièce; mais, comme nous l'avons vu plus haut, les boulets creux, en fonte dure, du chevalier Fridau, les traversent d'outre en outre. Depuis deux ans, cette Société s'est fusionnée avec celle de l'usine Heft, en Carinthie, qui fournit les lingots en acier Bessemer que Storé étire et transforme pour ses produits.

Le comte *Méran*, à Krems, près Gratz, occupe environ 560 ouvriers dans l'usine et 180 mineurs pour l'extraction des lignites. Il fabrique à peu près 4,000 tonnes de fers et d'acier en barres ainsi que de grosses et de petites tôles. Depuis cinq ans, il est parvenu à employer avantageusement les lignites (qui contiennent environ 30 pour 100 d'eau). L'emploi de ce combustible minéral lui permet de produire aujourd'hui avec bénéfice et de développer sa fabrication, qui, depuis quelques années, s'est augmentée d'environ 300,000 kilogrammes.

Comte de *Thurn*, à Klagenfurth (en Carinthie). — Il produit des aciers puddlés et fondus, des fers et des fils de fer. La production totale s'élève à 2,000 tonnes par an, et trouve son principal écoulement en Orient et en Italie.

Johann Adolfshütte, à Judenburg (en Styrie.) — Cette usine avait exposé de belles tôles en acier Bessemer pour ustensiles, tant noires que polies et étamées, d'une pureté et d'un brillant admirables. Elle n'emploie pour ses tôles que les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

meilleurs fers de la Styrie, et quant à ses tôles Bessemer, elle les fabrique avec l'acier tiré des forges du prince Schwanzenberg, à Murau. Depuis le commencement de cette année, elle produit des cuillères étamées en tôle de fer et en acier Bessemer, et elle en fabrique depuis quelques mois 200 à 300 douzaines par jour.

Direction des forges d'acier et de fers d'Eibiswald, à Graetz (en Styrie.) — Cette forge produit l'acier puddlé et l'acier fondu ; elle fabrique également des ressorts de carrosserie et des wagons pour chemins de fer.

CHAPITRE V.

FABRICATION DE L'ANGLETERRE.

§ 1. — Situation nouvelle de l'industrie métallurgique anglaise.

A toutes les Expositions antérieures à celle de 1867, l'examen des produits appartenant à la catégorie des fontes, fers et aciers, dénotait de la manière la plus évidente l'incontestable et éminente supériorité du Royaume-Uni dans cette grande et importante branche de l'industrie.

Possesseurs d'immenses capitaux et d'un outillage sans pareil, privilégiés par la nature sous le rapport des combustibles et des minerais, qu'on ne trouve nulle part associés d'une manière aussi favorable et en aussi grande abondance ; ayant accaparé et monopolisé, pour ainsi dire, les fers les plus fins et les plus purs, provenant des minerais oxydés, spathiques de la Suède ; maîtres, par conséquent, de la matière avec laquelle on prépare les meilleurs aciers cémentés et au moyen de ces derniers, les aciers fondus les plus fins et les plus recherchés, les Anglais semblaient n'avoir plus rien à craindre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour l'avenir, et leur suprématie paraissait établie sur les bases les plus solides et les plus durables.

Seule la fabrication des aciers naturels et corroyés préparés au charbon de bois leur avait échappé à cause de la rareté et de la cherté du bois en Angleterre. Cette fabrication était une espèce de fiche de consolation laissée forcément au continent, parce que les fontes aciéreuses et miroitantes ne pouvaient être produites qu'au moyen de hauts fourneaux alimentés par des minerais manganésifères et marchant au charbon de bois. Mais il était permis de prévoir, ce qui est arrivé en effet, qu'on parviendrait peu à peu à substituer le coke au charbon de bois, à purifier les minerais trop impurs, à leur ajouter artificiellement le manganèse qui leur manquait, à leur donner, en un mot, la propension aciéreuse et à obtenir des fontes avec lesquelles on fabriquerait des aciers présentant les caractères et les qualités des aciers naturels au charbon de bois et pouvant les remplacer dans leurs applications.

Les Anglais pouvaient donc légitimement espérer de s'emparer encore de cette branche de fabrication des aciers naturels, ou plutôt de l'anéantir graduellement sur le continent, en fournissant des aciers de qualité semblable et à bien meilleur marché. Enfin, c'est sur ce sol éminemment métallurgique qu'a pris naissance le procédé Bessemer, qui, après diverses péripéties, s'y est fixé à la fin et y a pris de nos jours un développement extraordinaire. Eh bien! malgré tous ces pronostics favorables pour les Anglais, défavorables pour les nations du continent, l'Exposition de 1867 nous a révélé un fait des plus remarquables et d'une importance incalculable: c'est que la suprématie si longtemps et si fortement établie de l'Angleterre en fait de fabrication des aciers, se trouve non-seulement fortement ébranlée, mais même très-sérieusement entamée.

La France et l'Allemagne s'y sont montrées et posées comme rivales et concurrentes très-redoutables des Anglais, et ce n'est pas seulement pour la matière première que cette rivalité s'est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

déclarée et a été constatée; c'est encore pour ses applications les plus importantes.

A la vérité, déjà à l'Exposition de Londres, en 1862, les objets en acier fabriqués sur le continent figuraient avec honneur à côté de ceux exposés par les Anglais; mais en 1867, la lutte a été beaucoup plus vive, et il est bien permis de dire qu'elle a été victorieuse sous bien des rapports pour les nations du continent. Cela est tellement vrai que, à l'Exposition du Champ-de-Mars, l'Angleterre paraissait être restée stationnaire, tandis que les progrès accomplis surtout en France et en Allemagne, dans la fabrication des objets en acier, sautaient pour ainsi dire aux yeux.

Quelles sont les causes qui ont amené ce résultat aussi heureux qu'inattendu? En y réfléchissant, il n'est pas difficile de les découvrir. Elles sont à la fois économiques et manufacturières.

Les traités de commerce, en facilitant l'entrée des aciers anglais sur le continent, en ont d'abord provoqué une plus grande consommation. On s'est habitué à en employer les meilleurs à la fabrication des objets pour lesquels la finesse, l'homogénéité et la dureté de l'acier sont des conditions essentielles. Les fabricants d'acier d'Angleterre, soit parce que l'exportation de leurs aciers augmentait, soit par suite de la concurrence qui s'établit chez eux, se contentèrent d'un bénéfice moindre, ce qui leur était d'autant plus facile que leur production s'était aussi notablement augmentée. Avec la baisse des prix des aciers anglais sur le continent, leur consommation y devint aussi plus forte, et le génie et l'habileté de nos ouvriers ne le cédant pas à ceux de l'Angleterre, la main-d'œuvre étant d'ailleurs moins chère sur le continent, il arriva bientôt que nos produits purent parfaitement rivaliser avec les produits anglais.

Mais d'autres conséquences de la réforme opérée dans la législation douanière ne tardèrent pas à se manifester. Les fabricants d'acier français, menacés très-sérieusement par la con-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

currence anglaise, durent faire des efforts extraordinaires pour se maintenir : c'était pour eux une question de vie ou de mort. Il fallut absolument perfectionner les procédés, améliorer l'outillage, réaliser des économies partout où cela était possible, et arriver ainsi à livrer des aciers à bien meilleur marché, tout en maintenant et même en augmentant leur qualité.

L'invention du puddlage de l'acier leur fut d'un grand secours; ils reconnurent très-vite les ressources que leur offrait cette précieuse découverte, qui permet de se passer des fers à acier et qui, avec une moindre dépense de combustible et pourvu qu'on opère sur des fontes d'une nature appropriée à ce procédé, réalise très-économiquement la production d'un acier naturel de qualité très-satisfaisante. On se mit partout à la recherche des fontes à propension aciéreuse ; on les essaya seules ou mélangées ; on étudia cette fabrication dans toutes ses phases, et c'est certainement en France et en Allemagne qu'on a apporté les perfectionnements les plus importants au puddlage des aciers. Les aciers puddlés, comme nous l'avons déjà fait remarquer, ont ensuite remplacé, dans une énorme proportion, les aciers cémentés (ce qui a dispensé d'avoir recours aux fers à acier de la Suède et de la Russie) pour la fabrication des aciers fondus de qualité courante. Il est probable que, sans les aciers puddlés, l'établissement de M. Krupp n'aurait jamais pu acquérir les proportions colossales qui en font la première aciérie du monde.

Enfin, l'invention du procédé Bessemer est encore venue améliorer cette situation des fabricants d'aciers du continent. La question du combustible étant tout à fait secondaire dans ce procédé, une des causes les plus essentielles de la supériorité de l'Angleterre a disparu. Par contre, nous possédons des minerais produisant, par un traitement rationnel, des fontes au moins aussi convenables, sinon plus favorables pour le bessemerage que les fontes d'hématites anglaises.

L'Angleterre a bien pris le pas sur la France et l'Allemagne dans le développement qu'elle a donné à ce mode de fabrica-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion, mais il est probable qu'on ne tardera pas à la suivre et peut-être à la dépasser. Il n'y aurait donc rien d'étonnant à ce qu'à la première Exposition universelle, la France, l'Allemagne et peut-être les États-Unis d'Amérique, pussent être placés sur le même rang que l'Angleterre pour la métallurgie de fer, et surtout pour la branche spéciale de la fabrication des aciers.

C'est peut-être ici le cas de dire un mot de la question du combustible. L'Angleterre développe de jour en jour l'exploitation de ses mines de houille; mais leur production menace sérieusement de s'épuiser. Les prix des houilles y ont augmenté dans ces dernières années; leur extraction devient de plus en plus difficile et coûteuse. On a fait des calculs, reposant sur des données qui ne sont nullement à dédaigner, d'où il résulterait que la provision houillère, si la consommation suivait la progression actuelle, ne durerait plus guère que deux siècles. Les préoccupations des Anglais sur cette question sont si réelles, que le Parlement et le Ministère ont institué une Commission pour l'étudier et l'élucider.

§ 2. — Aciers cémentés et aciers fondus au creuset.

L'Angleterre, grâce aux marchés à longs termes que ses industriels avaient contractés avec les meilleures forges de la Suède, est devenue le pays qui produit les meilleurs aciers cémentés, et, avec ces derniers, les aciers fondus au creuset de qualité tout à fait supérieure, unissant à une extrême ténacité la plus grande dureté. Tels sont, par exemple, les aciers fondus Huntsmann, Stubs, etc., dont la supériorité jusqu'à nos jours n'a jamais été dépassée et qui sont incontestablement la matière première par excellence pour les instruments de chirurgie et outils de toute espèce exigeant un tranchant fin et durable. Le siége principal de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cette fabrication est à Sheffield; on y produit non-seulement les qualités supérieures, mais aussi toutes les qualités secondaires fabriquées avec les fers de Suède et de Russie.

Un certain nombre de fabricants d'acier de Sheffield obtiennent même des aciers fondus ordinaires avec les aciers cémentés, faits avec des fers anglais. Cela est devenu possible depuis qu'on a reconnu l'effet avantageux obtenu par l'addition d'un peu de carbure de manganèse ou, ce qui revient au même, de mélange de peroxyde de manganèse et de charbon, dans les creusets où s'opère la fusion des aciers cémentés. Le manganèse agit surtout favorablement en provoquant l'élimination du soufre; cette addition est considérée comme presque indispensable lorsqu'on veut faire de l'acier avec les fers au coke.

Depuis l'Exposition de 1862, on ne peut guère signaler de progrès marquants réalisés dans la fabrication des aciers fondus au creuset. Les procédés sont restés identiquement les mêmes à deux exceptions près, mais qui présentent cependant une certaine importance. Nous voulons parler des fours à fusion, au moyen du gaz combustible en place du coke, que M. Verdié a déjà introduits en France depuis deux ans, et qu'on emploie également en Angleterre, tant pour la production des aciers fondus que pour celle de l'acier fondu moulé. Le second progrès consiste dans la fabrication des creusets, qui se faisaient à la main et qui aujourd'hui sont confectionnés par des procédés mécaniques.

Quant à l'importance de la production, elle est restée à peu près stationnaire depuis quelques années, et, pour les raisons déjà détaillées dans nos considérations générales, elle tend plutôt à diminuer qu'à augmenter.

La fabrication des aciers fondus au creuset s'est centralisée à Sheffield. On y compte à peu près une dizaine de grands fabricants; mais, à côté d'eux, il y a encore un très-grand nombre de petits fabricants. On estime la production totale

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et annuelle des aciers fondus au creuset, à Sheffield, à environ 60,000 tonnes (1).

MM. *Turton et Son* et M. *Burys et C*ie représentaient à l'Exposition la fabrication des aciers fondus au creuset de Sheffield. Les beaux échantillons envoyés par ces deux fabricants justifiaient la bonne réputation dont jouissent généralement leurs produits.

Une aciérie au creuset importante, mais ne faisant pas partie du groupe de Sheffield, se faisait encore remarquer à l'Exposition: celle de *Monck Bridge*, à Leeds. Cette usine s'applique principalement à la fabrication des bandages, des essieux coudés et droits, des tôles pour chaudières, ainsi que des pièces de forges pour les chemins de fer, la marine, etc. C'est à Monk-Bridge que les premiers bandages sans soudure ont été fabriqués en Angleterre. Les laminoirs y sont très-bien établis et ont été imités par un assez grand nombre d'usines du Yorkshire.

Quoique M. *Firth* à Sheffield, n'ait pas exposé, nous devons cependant le signaler parmi les fabricants d'acier fondu au creuset de l'Angleterre.

D'après les renseignements que nous devons à l'obligeance de S. Exc. le général de Elorza, cette maison produit, par semaine, 150 tonnes d'acier fondu au creuset. Le général fait les plus grands éloges de la fabrication soignée de M. Firth, et mentionne que c'est lui qui fournit les tubes cylindriques en acier fondu qu'on emploie à l'arsenal de Woolwich, pour renforcer intérieurement les canons de gros calibre. Il fournit les mêmes tuyaux pour les canons de M. Whitworth. C'est encore M. Firth qui fabrique les canons pour les armes de guerre et particulièrement pour la manufacture d'armes d'Enfield, en les forant, au moyen de machines très-

(1) D'après la statistique officielle, cette production était, en 1862, de 52,000 tonnes, et celle des aciers cémentés de 79,000 tonnes, dont la plus grande partie était employée à la fabrication des aciers fondus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

simples et très-pratiques ; il fait également beaucoup de projectiles en acier fondu.

Mentionnons encore MM. *Naylor, Wickers et C*ie, qui ont construit, près de Sheffield, une grande usine avec un atelier de 200 pieds de long sur 180 pieds de large, où se trouvent 288 fours à section oblongue, qui renferment chacun deux creusets d'une contenance de 30 à 35 kilogrammes.

On met dans ces creusets un mélange d'acier puddlé, d'acier cémenté, de fonte miroitante, de fer et de fonte de fer, de charbon de bois et de l'oxyde de manganèse en proportions variables, selon la qualité de l'acier qu'on veut produire. L'acier obtenu est généralement doux; on en fait des bandages et beaucoup de moulages pour les changements de voies sur les chemins de fer et d'autres emplois. Cette maison coule également les cloches en acier fondu, pour la fabrication desquelles elle a fait un traité avec Bochum, en Westphalie, où cette nouvelle industrie a pris naissance.

§ 3. — Aciers puddlés.

Le procédé de fabrication de l'acier, par le puddlage des fontes, importé par Riepe, de la Prusse en Angleterre, n'a pas eu, dans ce pays, autant de succès qu'on l'espérait.

Les fontes provenant des minerais anglais sont trop impures pour fournir, par le puddlage, des aciers de bonne qualité; et leur emploi devient par là moins avantageux pour la fabrication des aciers destinés à la fusion au creuset. On a bien essayé de corriger les défauts de ces fontes, soit par l'addition de peroxyde de manganèse, de sel marin et d'une certaine quantité d'argile ou de fontes miroitantes tirées de l'Allemagne, soit par des constructions particulières de fours (four rotatoire de Morgen), soit par l'introduction de jets d'air et de vapeur d'eau à haute pression dans le four à puddler; mais malgré

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cela, les aciers obtenus par le puddlage ont toujours été de qualité très-médiocre et n'ont pu soutenir la comparaison avec les aciers puddlés produits en France et en Allemagne.

Aussi, cette branche de fabrication des aciers n'est-elle, comparativement, que d'une importance secondaire dans le Royaume-Uni, et c'est là le fait le plus saillant que nous ayons à constater relativement à l'industrie de ces aciers. Le développement de l'acier Bessemer qui, sur le continent, n'a guère influé sur le puddlage des aciers, sera, au contraire, en Angleterre, un nouvel obstacle à ajouter à tous ceux qui empêchent ce procédé de fabrication d'y acquérir une grande importance.

§ 4. — Invention du procédé Bessemer.

Henry Bessemer est l'inventeur du procédé qui porte aujourd'hui son nom, et comme M. Bessemer est lui-même fabricant d'acier, nous croyons devoir dire ici quelques mots sur l'histoire de ce nouveau mode de fabrication et sur les perfectionnements successifs qui y ont été apportés. M. Bessemer fit connaître son procédé par un mémoire lu devant l'Association britannique, en 1856; dans sa pensée, on devait surtout l'appliquer à la fabrication du fer. Cette lecture fit une sensation extraordinaire. Partout on se mit à expérimenter le procédé sur toute espèce de fontes anglaises et partout on échoua.

Le métal qu'on obtenait était dur, cassant et ne se laissait ni forger, ni laminer. Aussi le désappointement fut grand et l'échec paraissait complet. M. Bessemer seul ne se laissa pas décourager. Pendant plusieurs années, il s'efforça de rechercher la cause de cet insuccès.

Ayant observé que la silice et le carbone étaient facilement éliminés par le courant d'air, mais que le souffre et le phosphore restaient, il lui vint à l'idée que ces deux substances, assez abondantes dans la généralité des fontes anglaises, pourraient bien être la cause des mauvaises qualités du métal qu'on obtenait. Il essaya donc les fontes les plus diverses et finit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par faire venir de Suède et de Russie des fontes extrêmement pures, avec lesquelles il obtint de meilleurs résultats. Encouragé par ce succès, il provoqua l'établissement de son appareil dans une forge de Suède; là, on s'aperçut très-vite qu'il était plus facile et en même temps plus avantageux de transformer la fonte en acier, en ne la décarburant pas trop, que de chercher à en produire du fer, en poussant l'oxydation plus loin. On obtenait ainsi, avec beaucoup moins de déchet, un métal d'une plus grande valeur. L'attention fut dès lors presque exclusivement dirigée sur l'emploi du procédé pour la préparation de l'acier.

La réussite du bessemerage, en Suède, provoqua la reprise des essais en Angleterre, mais sans succès, parce que la fonte n'était pas convenable.

C'est alors que M. W. Bird, grand marchand de fer à Londres (notre excellent collègue, comme juré, aux trois Expositions de 1851, 1855 et 1862, et que nous avons bien regretté de ne pas avoir parmi nous à l'Exposition actuelle), conseilla à M. Bessemer d'essayer les fontes hématites de Workington. Ce conseil fut suivi, et la fonte hématite fut en effet trouvée convenable pour la conversion en acier. Des établissements importants se créèrent alors, d'un côté, pour la production en grand de fontes d'hématites, et de l'autre, pour la conversion de ces fontes en acier; en attendant, on avait acquis une expérience plus grande du procédé. Les échecs devinrent de plus en plus rares et les opérations réussies de plus en plus nombreuses. Bientôt l'appareil Bessemer fut également expérimenté et avec succès, en Allemagne, en France, en Autriche, aux États-Unis; et c'est ainsi que, dans ces dernières années, l'application de ce procédé a pris ce développement extraordinaire que nous lui connaissons aujourd'hui et qui n'est nullement à la veille de s'arrêter.

La forme des convertisseurs a subi à son tour des transformations qui en ont rendu l'emploi plus facile et plus certain. Le premier convertisseur était fixe, et les tuyères y en-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

traient par le côté et dans une direction horizontale. On débouchait un trou placé à la partie inférieure pour laisser écouler le métal.

Ces dispositions présentaient plusieurs graves inconvénients. Le vent entrant près des parois ne pénétrait pas l'intérieur de la fonte; beaucoup d'air s'échappait inutilement entre le métal et les parois verticales. Le revêtement en terre réfractaire était rapidement entamé à cause de la haute température et par l'effet de l'action dissolvante du silicate de protoxyde de fer. Il fallait donner le vent avant l'introduction de la fonte dans le convertisseur, et le continuer même pendant la coulée du métal; car si on l'avait arrêté un instant, les tuyères auraient été immédiatement bouchées. Il en résultait qu'on n'était guère maître de l'opération; et ensuite, par l'effet de la violente agitation de tout le contenu du convertisseur, le métal restait intimement mélangé avec les scories. Enfin, la portion de la fonte coulée, en premier lieu, dans le convertisseur était déjà en partie affinée avant que les dernières parties de fonte y fussent arrivées.

Pour remédier à tous ces inconvénients, le convertisseur fut rendu mobile autour d'un axe, les tuyères furent placées à la partie inférieure de l'appareil, qui reçut la forme d'une énorme poire.

M. Bessemer fut assez heureux pour trouver, dans la boue des routes, aux environs de Sheffield, une matière réfractaire (ganister) capable de former un revêtement capable de résister à un grand nombre d'opérations. Pour en garnir le convertisseur (qui est en deux pièces), on y introduit un mandrin en bois et l'on foule le ganister très-fortement entre les parois métalliques et le mandrin. L'ouverture par laquelle on fait entrer la fonte liquide a également été modifiée plusieurs fois : trop étroite, elle gêne les opérations; trop large, elle est la cause d'un trop notable refroidissement.

Auparavant, pour chauffer le convertisseur, on se servait du coke, qui avait l'inconvénient d'y laisser des cendres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fusibles; aujourd'hui, l'appareil est porté à la température convenable par la flamme du gaz. Aux engrenages mus par des hommes, pour la manœuvre de l'appareil, on a substitué l'action bien plus puissante et plus sûre de presses hydrauliques.

Il a fallu une série d'essais et une pratique prolongée du procédé, pour déterminer la forme et les dimensions les plus favorables du convertisseur. Celui-ci est maintenant formé de deux parties superposées et pouvant s'ajuster exactement l'une sur l'autre; c'est dans la partie inférieure la plus spacieuse qu'a lieu la conversion de la fonte en acier et que se trouvent les tuyères; au haut de la partie supérieure et un peu de côté, est pratiquée l'ouverture par laquelle on fait entrer, après avoir fait pivoter l'appareil, la fonte liquide et la fonte miroitante; les gaz s'en échappent plus tard pendant la réaction, et c'est aussi par elle qu'on écoule l'acier en faisant de nouveau pivoter le convertisseur.

Cette division en deux parties facilite beaucoup la mise en place du revêtement intérieur en terre réfractaire. La forme générale est celle d'une voûte dans toutes les positions, ce qui empêche le revêtement de s'écrouler par son propre poids. Il n'y a dans le convertisseur aucun angle ou recoin, où le métal puisse s'immobiliser et se solidifier.

L'ouverture supérieure, par sa position, détourne la flamme et les étincelles des ouvriers, des moules et des autres appareils, tout en ne permettant pas aux éclaboussures du métal d'être projetées hors du convertisseur, pendant la violente ébullition qui accompagne la réaction de l'air sur la fonte. Le convertisseur est supporté par des axes reposant eux-mêmes sur des supports très-solides, de manière qu'on puisse communiquer à volonté un mouvement de rotation semi-circulaire à tout l'appareil.

Les tuyères, munies chacune de dix à douze ouvertures, sont placées à la partie la plus déclive; elles dépassent le revêtement réfractaires à l'intérieur et communiquent avec une boîte à air extérieure, qui est elle-même en communication avec des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

machines soufflantes extrêmement puissantes, au moyen d'un tuyau passant par l'un des axes du convertisseur. Le vent est chassé dans une direction verticale à travers le métal, sans pouvoir atteindre les parois du revêtement. Il arrive quelquefois qu'une tuyère se dérange ou se détache : avec les convertisseurs fixes, cet accident faisait complétement manquer l'opération et entraînait de graves inconvénients et de grandes dépenses. Aujourd'hui, avec le convertisseur mobile, il n'en est plus ainsi; si un dérangement a lieu, on incline le convertisseur de manière que le niveau du métal liquide se trouve au-dessous des tuyères; on arrête le vent, on ouvre la boîte à air, on bouche ou l'on remplace la tuyère défectueuse, on referme la boîte à air, on donne de nouveau le vent, en même temps qu'on redresse l'appareil: et l'opération peut maintenant être continuée et achevée sans difficulté.

L'acier déversé du convertisseur est reçu dans une poche à couler, suspendue à un arbre horizontal pouvant se mouvoir circulairement. Tangentiellement à ce cercle, sont placés les moules qui doivent recevoir l'acier fondu. L'écoulement de l'acier et le remplissage de ces moules au moyen de la poche est réglé par une soupape conique en terre réfractaire, qui ferme une ouverture placée au fond de la poche. La soupape est fixée à une tige de fer, bien garnie d'argile réfractaire et pouvant être soulevée et abaissée au moyen d'un levier, de manière à ouvrir ou fermer la soupape à volonté. Non-seulement les mouvements du convertisseur et l'élévation ou l'abaissement de la poche de coulage, mais encore les mouvements des appareils destinés à enlever les lingots d'acier coulé du puits de moulage, sont effectués par des appareils hydrauliques; de cette manière, toute l'opération peut être sous le contrôle d'un seul homme, placé lui-même loin de la chaleur intense et de la pluie d'étincelles incandescentes qui accompagnent les différentes phases du procédé.

Le volume de l'appareil exerce une influence considérable sur la réussite des opérations. En général, plus le convertis-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seur est grand, plus la masse de fonte sur laquelle on opère est considérable, plus aussi les réactions sont faciles à suivre à maîtriser, plus les résultats sont certains.

En n'opérant que sur 200 kilogrammes de fonte, il est possible, mais assez difficile, de produire, soit un acier fondu de bonne qualité, soit un fer aciéreux très-tenace, et tous deux d'une grande homogénéité. En convertissant plusieurs tonnes de fonte à la fois, on est, au contraire, assez maître de produire un acier d'une carburation et d'une dureté déterminées d'avance.

Un convertisseur pouvant recevoir cinq tonnes de fontes, pèse lui-même, en moyenne, de dix à onze tonnes.

§ 5. — Mode d'opération du procédé Bessemer.

Pour la conduite d'une opération, on opère maintenant, en général, de la manière suivante : on commence par porter l'intérieur du convertisseur à une température élevée, soit au moyen d'un feu de coke, soit mieux encore par la flamme de gaz combustible. L'air pour alimenter cette combustion est insufflé par les tuyères. Dans le cas de l'emploi de coke, on a soin d'enlever les cendres et les résidus avant d'introduire la fonte. Cet avant-chauffage a pour but d'empêcher la fonte liquide de se refroidir ou même de se solidifier, en arrivant dans le convertisseur. Si l'on opère avec de la fonte de seconde fusion, on amène celle-ci à l'état liquide dans un cubilot ou dans un four à réverbère pendant l'avant-chauffage de l'appareil.

Au contraire, en prenant directement la fonte au haut fourneau, on s'arrange de manière que l'avant-chauffage soit terminé au moment où l'on peut prendre la fonte au creuset du haut fourneau. Tout étant prêt, on fait pivoter le convertisseur et on l'incline de façon que les tuyères soient un peu au-dessus de la bouche (l'ouverture supérieure) du convertisseur. Au moyen d'un conduit en tôle bien revêtu par-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tout de terre refractaire, on fait couler quatre à cinq tonnes de fonte dans l'appareil. On enlève immédiatement les bavures; pendant tout le temps de l'introduction de la fonte, les appareils soufflants sont en repos et rien ne gêne le remplissage. Mais dès qu'il est terminé, et au moment même où l'on va faire pivoter l'appareil pour lui laisser reprendre la position verticale, on fait marcher la soufflerie. Si l'on n'opérait pas ainsi, la fonte arrivant, par suite du changement de position du convertisseur, au-dessus des tuyères, y entrerait, s'y solidifierait et les boucherait.

Mais cela n'est plus possible, puisque l'air s'en échappe avec une pression qui est, en moyenne, double de la pression exercée sur l'orifice des tuyères par la hauteur de la colonne de fonte liquide.

L'air s'échappant, sous une si forte pression, au fond du métal liquéfié, le traverse en se divisant en une infinité de petites bulles et agit sur la fonte, par une surface énorme; l'oxygène de l'air se porte à la fois sur le silicium, le carbone et le fer, mais cependant de préférence d'abord sur le silicium, puis sur le carbone, enfin sur le fer.

Il en résulte une combustion extrêmement vive, dégageant une chaleur des plus intenses; cette chaleur est évidemment communiquée au métal, dont la température s'élève d'une manière extraordinaire, et dont la fluidité reste en conséquence des plus parfaites.

Les bulles d'air produisent dans la masse fluide une écume qui souvent remplit entièrement l'appareil, dont la hauteur est cependant de plus de 4 mètres. Il arrive même que cette masse métallique incandescente est violemment projetée avec les gaz, azote et oxyde de carbone, hors de la bouche de l'appareil. On voit alors une colonne de flamme, d'un blanc éblouissant, ayant 75 centimètres de diamètre (c'est la largeur de la bouche) et 4 à 5 mètres de hauteur, s'élancer en l'air avec un fracas formidable. Pour éviter les accidents et les dangers d'incendie, on construit une cheminée, largement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ouverte au bas, au-dessus du convertisseur, pour que cette colonne incandescente puisse s'y engouffrer. La coloration de la flamme n'est pas toujours la même ; à mesure que la conversion avance, elle passe du violacé à l'orange, et enfin au blanc pur. Les étincelles qui d'abord étaient volumineuses, comme celles d'une fonderie ordinaire, se changent en petits points, qui traversent l'espace en sifflant, et ces points finissent eux-mêmes par disparaître et sont remplacés par des parcelles volant lentement et émettant une lumière bleuâtre lorsque le métal approche de l'état de fer ductile.

La chaleur développée dans l'intérieur de l'appareil est si intense que, même en décarburant la fonte entièrement et en la ramenant par là à l'état de fer, ce fer reste fondu et liquide et peut être coulé comme la fonte et l'acier.

Il n'y a ordinairement point de projection de scories, quoiqu'il s'en forme pendant l'opération. Ces scories se rassemblent plus tard à la surface du métal, et en empêchent le refroidissement trop rapide.

Dans les premiers temps (et cela se pratique encore dans quelques usines), on jugeait d'après l'aspect de la flamme, en tenant compte de sa couleur, de son volume et de la nature des étincelles, et aussi d'après le bruit particulier produit par le métal en ébullition, du degré d'avancement de l'oxydation, et par suite de la décarburation ; on arrêtait l'opération lorsqu'on pensait être arrivé au point désiré, en faisant pivoter l'appareil et en déversant le métal dans la grande poche de coulage. Mais en opérant de cette manière, on n'était jamais certain de la nature du métal qu'on obtenait, quoique l'expérience et la pratique suppléassent jusqu'à un certain point aux incertitudes inhérentes à l'opération elle-même.

Aujourd'hui on procède généralement d'une manière différente. On continue l'opération jusqu'à ce que les phénomènes lumineux aient montré que la décarburation est devenue à peu près complète, et que la fonte soit convertie en fer. Non-seulement cette phase est plus facile à saisir, mais on est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aussi plus certain d'avoir débarrassé la fonte de toutes les matières à éliminer par le procédé. Du reste, une fois qu'on est arrivé à n'avoir plus que du fer, une prolongation maladroite de l'insufflation d'air ne pourrait plus avoir d'autre effet que d'oxyder inutilement et en pure perte une partie de ce fer ; le métal lui-même ne changerait plus de nature. Il faut cependant éviter avec soin de pousser l'oxydation trop loin, non-seulement à cause de la perte occasionnée par un déchet extraordinaire, mais encore parce qu'on court le risque qu'une portion de fer entièrement décarburée ne se solidifie et ne s'attache aux parois de l'appareil, ce que le métal est surtout disposé à faire au-dessus et dans le voisinage des tuyères. Un autre inconvénient de la présence d'une trop grande quantité de fer oxydé dans l'appareil, c'est la réaction que cet oxyde peut et doit exercer sur le carbone de la fonte miroitante, ajoutée plus tard au métal dans le convertisseur. On arrête donc l'opération lorsque la fonte est à peu près décarburée. On fait pivoter le convertisseur pour dégager les tuyères, on arrête le vent, puis on introduit dans l'appareil une quantité déterminée de fonte miroitante, proportionnelle à la dureté plus ou moins grande de l'acier qu'on veut produire. On emploie généralement la fonte miroitante de Siegen, en Wesphalie (1).

L'addition de la fonte miroitante peut se faire de différentes manières : ou bien on fond cette fonte dans un petit four à manche ou à réverbère, et on la coule fondue dans le convertisseur (cette fusion préalable, en produisant une certaine

(1) Dans nos considérations générales, nous avons déjà attiré l'attention sur les inconvénients de l'usage de la fonte miroitante pour carburer un peu fortement le métal en fusion ; en effet, en administrant le carbone sous cette forme, on introduit en même temps toutes les impuretés que renferme la fonte.

Si donc l'on parvenait à trouver ou à produire une substance beaucoup plus pure et renfermant des quantités bien déterminées de carbone dans un état tel qu'il pût se dissoudre d'une manière certaine et uniforme dans la masse liquide du convertisseur, on apporterait, sans aucun doute, un perfectionnement très-notable à la fabrication.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

oxydation de la fonte, et, par conséquent, une diminution variable de sa teneur en carbone, jette de l'incertitude sur le degré de carburation produit par une quantité donnée de fonte), ou bien on chauffe seulement la fonte au rouge vif et on l'introduit encore solide dans le métal en traitement; là cette fonte ne tarde pas à éprouver la fusion et à se dissoudre dans la masse totale du métal liquide. Pour opérer un mélange intime, M. Bessemer avait d'abord conseillé de faire de nouveau agir la soufflerie et de redresser l'appareil. L'air, en passant à travers le métal liquide, opérait très-rapidement un mélange intime, mais évidemment cet effet ne s'obtenait que conjointement avec une nouvelle réaction oxydante, et quoique la durée du passage de l'air ne fût que très-courte (à peine une minute), elle suffisait pour rendre très-incertain le degré de carburation du métal. Plus tard, on tâcha d'opérer le mélange par simple agitation mécanique, ce qui assure davantage le degré de carburation, mais on est exposé par là à ne point opérer un mélange assez parfait.

Pour obtenir quelque exactitude dans les proportions de carbone introduites dans le métal par l'addition de fonte miroitante, M. Bessemer a recommandé d'opérer de la manière suivante :

On fond la fonte miroitante dans un cubilot au moyen d'un feu de charbon de bois. La fonte liquéfiée est coulée dans de l'eau froide pour être grenaillée. On opère sur une quantité de fonte assez grande pour obtenir une masse de grenailles qui puisse suffire à une série d'opérations. L'analyse de ces grenailles en fait connaître la composition et la teneur en carbone. Pour éviter qu'elles ne se modifient ou ne s'altèrent plus tard, on ne les refond plus pour les introduire dans le convertisseur; on les chauffe au rouge dans un creuset bien clos, ce qui empêche toute oxydation, et l'on verse enfin rapidement les grenailles très-chaudes dans l'appareil. L'état de division de la fonte miroitante sous cette forme de grenaille peut contribuer à la répartir plus également dans le métal, et à assurer plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'homogénéité à l'acier Bessemer. Le métal dans le convertisseur ayant été transformé en acier, d'une dureté donnée par l'addition d'une quantité plus ou moins considérable de fonte miroitante, est maintenant déversé dans la poche de coulage. Celle-ci a été préalablement chauffée au rouge intense. Les scories qui se sont écoulées avec l'acier se rassemblent dans la poche, à la surface, et surnagent sur le métal pur. On conçoit donc qu'en amenant la poche au-dessus d'une lingotière, et en soulevant la soupape de terre cuite, au moyen d'un très-long bras de levier manié par un ouvrier, il n'y a que l'acier pur qui puisse s'écouler sans aucune trace de scorie. On fait tomber le jet d'acier au centre de la lingotière, d'abord très-rapidement jusqu'à ce que le moule soit à moitié rempli, puis plus lentement. Dès que la surface est un peu solidifiée, on la couvre d'une plaque en tôle, on verse dessus un peu de sable et on tamponne ensuite fortement. On évite ainsi autant que possible le dégagement des gaz dans l'intérieur de l'acier, ce qui donnerait naissance à des soufflures.

Il est généralement avantageux de couler des lingots très-volumineux qu'on soumet ensuite à l'action d'un gros marteau-pilon ; le martelage est toujours plus favorable à la qualité finale de l'acier Bessemer que le laminage (1).

Pour de très-grandes pièces, M. Bessemer recommande de ne pas attendre trop longtemps après le coulage pour les soumettre à l'action du marteau. De cette manière on profite de la haute température qui règne encore dans l'intérieur de la pièce, et les effets des coups de marteau se font sentir dans toute l'épaisseur du métal. Si les couches extérieures de la pièce s'étaient trop refroidies, il faudrait les réchauffer dans un four à flamme.

(1) Il en est de même pour tous les autres aciers, car le marteau étend ou allonge peu à peu les molécules sans les détériorer, tandis que le laminoir les étend et les allonge avec violence en les déchirant : cet effet se produit lorsque les cylindres sont fortement serrés, qu'ils marchent vite et que l'acier n'est plus suffisamment chaud.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au contraire, si on laisse refroidir entièrement le gros lingot, on a beau le chauffer pendant très-longtemps dans le four à réchauffer, l'intérieur n'acquiert plus la température des couches extérieures et reste assez insensible au martelage. Par suite, les parties extérieures absorbent toute la puissance des coups de marteau, quelque violents qu'ils soient, et l'intérieur en est à peine affecté. M. Bessemer attache une grande importance à cette observation, lorsqu'il s'agit de la fabrication de grosses pièces d'artillerie en acier.

Cette recommandation de M. Bessemer est en opposition avec ce qui se pratique ordinairement à Sheffield. Les fabricants d'acier fondu, loin de travailler leurs lingots immédiatement après la coulée, non-seulement les laissent complétement refroidir, mais même les entassent et les conservent pendant quelque temps dans les cours, à l'air libre, prétendant que la qualité de l'acier en est améliorée. Quant aux pièces d'artillerie, dont l'intérieur est foré, la recommandation nous semble dans tous les cas moins utile que pour de grosses pièces qui restent entières.

§ 6. Théorie du procédé Bessemer.

On emploie autant que possible une fonte grise ou truitée graphitique, qui, sans inconvénient, peut être assez riche en silicium et en manganèse, pourvu qu'elle ne contienne que des traces de substances nuisibles, telles que le phosphore, l'arsenic, le soufre, le cuivre, que le Bessemerage n'affecte que très-peu, et qui se retrouvent presque en totalité dans le produit final.

Le premier effet de l'action de l'air sur la fonte consiste dans l'oxydation d'une certaine quantité de carbone, mais surtout du silicium. Ce dernier passe à l'état d'acide silicique ou silice ; mais la silice ayant une affinité très-puissante pour les oxydes métalliques, l'oxygène de l'air fait passer une certaine quantité de fer et la majeure partie du manganèse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

(qui est plus oxydable que le fer), à l'état d'oxydes ferreux et manganeux qui se combinent avec la silice, et constituent des scories de silicates de fer et de manganèse. Tout le graphite disparaît en même temps, soit enlevé mécaniquement, soit brûlé, mais principalement parce qu'il passe à l'état de carbone combiné avec le fer. La combustion du silicium, du fer et du manganèse se faisant sans dégagement de produits gazeux (qui absorbent de la chaleur), on comprend que la chaleur développée par la combustion reste toute entière dans le métal, et que la température de celui-ci s'élève d'une manière extraordinaire. C'est même à cause de cette élévation de température que le carbone qui était libre dans la fonte, à l'état de graphite, entre en combinaison avec le fer et constitue du carbure de fer. Il est tout naturel que le silicium soit oxydé avant le carbone, puisqu'on sait que les combinaisons oxydées du carbone sont décomposées par le silicium, qui s'empare de leur oxygène et met le carbone en liberté.

Après cette première phase de l'opération, le métal dans le convertisseur a donc perdu tout son graphite, la majeure partie de son silicium, une bonne partie de son manganèse, une certaine quantité de carbone, et il constitue maintenant une fonte blanche bien pure, mais médiocrement riche en carbone de combinaison.

Il est à remarquer que lorsque la fonte est assez manganésifère, une partie du soufre est éliminée avec le manganèse.

L'oxydation continuant, c'est maintenant le carbone qui est brûlé en se transformant en oxyde de carbone ; le silicium et le manganèse encore existants dans le métal disparaissent aussi de plus en plus. Le métal devient un fer fortement aciéreux ou un acier très-doux.

Après l'addition de la fonte miroitante, les proportions du carbone et aussi du silicium et du manganèse sont de nouveau augmentées, et le résultat produit est l'acier Bessemer.

Les scories consistent, d'abord, surtout en bisilicate et tri-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

silicate de manganèse et de fer, avec quelques centièmes d'alumine, de chaux et de magnésie provenant du revêtement en terre réfractaire. Vers la fin de l'opération, par suite de la combustion du fer, les scories renferment une plus forte proportion d'oxyde de ce métal. Une partie du fer est entraînée mécaniquement avec le gaz hors du convertisseur à l'état d'oxyde ferrique sous forme de fumées brunes-rousses.

Nous avons cru bien faire en donnant ces détails théoriques et pratiques sur le procédé Bessemer, non-seulement à cause de l'importance du procédé, mais encore parce qu'ils servent à faire bien comprendre les précautions à prendre pour qu'il réussisse, et parce qu'ils peuvent guider dans le choix des matériaux sur lesquels il convient d'opérer.

Lorsqu'il s'agit d'obtenir par le procédé Bessemer un métal extrêmement doux, ductile et tenace, dont les propriétés se rapprochent plus de celles du fer que de celles de l'acier, l'addition de fontes miroitantes manganésifères dans le convertisseur peut présenter des inconvénients, car pour allier au fer la dose de manganèse reconnue favorable et même nécessaire pour l'obtention d'un pareil métal homogène, on risque d'introduire en même temps une telle proportion de carbone et de silicium que le produit final reprenne les propriétés et les qualités d'un véritable acier.

M. Bessemer conseille dans de pareils cas d'employer des alliages de fer et de manganèse, préparés spécialement pour cet usage. De pareils alliages sont fabriqués par M. Henderson, à Glascow, et par M. Prieger, en Prusse. L'alliage de M. Henderson renferme 25 à 30 pour 100 de manganèse, et celui de M. Prieger, que cet inventeur nomme ferromanganèse, contient jusqu'à 80 pour 100 de manganèse. Ces alliages se distinguent eux-mêmes par leur grande ténacité.

§ 7. Application de l'acier Bessemer.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer plus haut, l'acier

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tend de plus en plus à se substituer au fer, partout où l'on trouve avantage à combiner la ductilité, la ténacité, la résistance et l'homogénéité à une légèreté relative. Par les mêmes raisons, un certain nombre d'objets précédemment coulés en fonte seront à l'avenir coulés en acier. Passons en revue quelques-unes de ces applications, dont l'acier Bessemer a pris de nos jours la part la plus importante.

Des navires, soit marchands, soit de guerre, construits en acier, peuvent être rendus bien plus légers, tout en présentant la même force de résistance. En effet, un navire en acier de 1,000 tonnes de capacité pèse environ 250 tonnes de moins que s'il était en fer. Les avantages qui en découlent sont énormes. Un pareil navire a un tirant d'eau moins profond ; si c'est un navire à voiles, son fret peut être augmenté de ces 250 tonnes : si c'est un bateau à vapeur, il peut prendre autant de combustible en plus et accomplir des voyages beaucoup plus lointains, sans être obligé de s'arrêter en route pour renouveler ses provisions de houille. Si c'est un navire de guerre, on peut donner aux plaques de blindages une épaisseur plus considérable, augmenter les poids et les dimensions de son artillerie et en faire un engin de guerre bien plus formidable. Ajoutons encore que la tôle d'acier est moins attaquable par la rouille que la tôle de fer. Les tôles d'acier appliquées à la construction des chaudières à vapeur permettent de les rendre bien plus résistantes, tout en les faisant plus légères.

Nous nous sommes déjà suffisamment étendu sur les avantages de l'emploi des aciers pour rails, bandages, essieux, etc. en général pour le matériel des chemins de fer. Citons seulement un fait, qui prouve la ténacité des bandages en acier : un bandage circulaire a été soumis à froid aux coups répétés d'un pilon à vapeur de six tonnes, jusqu'à ce qu'il eût pris la forme du chiffre **8**, sans présenter la moindre « crique » ou fracture. Disons en passant qu'on avait essayé de couler les bandages en acier en utilisant la force centrifuge ; mais on y a renoncé, parce que trop souvent le sable du moule se déta-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chait et se mélangeait à l'acier fondu. Aujourd'hui on coule un disque en acier dont on enlève le centre et on lamine ensuite l'anneau ainsi formé sous des cylindres d'une construction spéciale.

On commence à fabriquer à l'estampage et au tour un grand nombre d'ustensiles de ménage et d'autres objets pour lesquels on employait jusqu'à présent la tôle de fer, de laiton ou de cuivre, ou bien qu'on coulait en fonte.

L'acier Bessemer, quand il est bien doux, se prête particulièrement à ces usages à cause de sa grande ductilité et de sa ténacité. Il se substitue aussi au bronze pour la fabrication des cloches. Mais une application, malheureusement plus importante, c'est celle de l'acier Bessemer aux engins de guerre. On se souvient encore de la sensation et de l'étonnement qu'excitèrent les formidables canons Armstrong à l'Exposition de Londres, en 1862. Ces canons étaient formés d'une série de cylindres superposés; chaque cylindre se fabriquait en enroulant une barre d'excellent fer en hélice sur un mandrin et en soudant ensuite les spires de l'hélice. De cette manière, les fibres du fer étaient disposées sur l'arme, dans le sens de la plus grande résistance. Ces canons étaient certainement des chefs-d'œuvre de travail, de patience et d'habilité. Eh bien, ils n'ont pas tardé, eux et leurs semblables (armes Whithworth), à disparaître devant l'énorme et incontestable supériorité des canons en acier fondu.

D'après les expériences faites en Amérique, la résistance à la compression de l'acier doux est de 117,500 kilogrammes, celle de la fonte de 67,500 kilogrammes., et celle du fer de 41,750 kilogrammes, la résistance à la tension est de 40,000 kilogrammes pour l'acier doux, de 20 à 25,000 kilogrammes pour le fer et de 10 à 12,000 kilogrammes pour la fonte. A cause de son homogénéité, l'acier fondu résiste cinq ou vingt fois plus à l'usure que le fer, d'où sa supériorité pour les pistons, tiges, bandages et rails. Cette même propriété protége aussi l'âme des canons si efficacement contre l'effet des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

projectiles que le même nombre de coups qui met hors de service un canon en bronze ou en fonte n'affecte presque pas le canon en acier fondu. La fabrication des canons de fusils, d'après le système de M. Thompson, à Bilston, a été citée par M. Bessemer comme une des preuves les plus frappantes de la ténacité de son acier doux.

Les lingots sont d'abord laminés en barres cylindriques, qu'on scie ensuite transversalement. Chaque petit cylindre est percé d'un trou, non par forage, mais par un emporte-pièces (ou *punch*) à tête elliptique qu'on fait pénétrer dans la masse d'acier, à l'aide d'un marteau-pilon à vapeur. C'est là l'essai le plus rigoureux de la bonté du métal ; car cette opération fait apparaître les moindres défauts, et aucuns fers, même les meilleurs, ne seraient capables de le supporter. On étire ensuite un peu les cylindres creux sous le marteau ; les canons sont achevés par le laminage, et, les laminoirs cannelés étant munis de parties plus profondément creusées dans lesquelles se place l'extrémité des canons de fusils, cette extrémité y prend la forme voulue, tandis que le reste du canon s'étire cylindriquement. Ces canons en acier fondu sans soudures peuvent être fabriqués à 20 pour 100 meilleur marché que les meilleurs canons en fer.

Pour les projectiles, on fait choix d'un acier fondu suffisamment dur pour ne pas s'aplatir et cependant assez doux pour ne pas éclater en arrivant sur les plaques de blindages.

Tout en regrettant que des masses énormes d'acier, avec toute la valeur en matières et en main-d'œuvre qu'elles représentent, soient affectées à des objets dont le but n'est que la destruction, il faut cependant reconnaître que la nécessité de nouveaux et de plus puissants moyens d'attaque et de défense à fait faire des progrès énormes à la métallurgie du fer et de ses dérivés et qu'elle a été cause de la création de moyens de production réellement grandioses et dignes d'admiration. Les arts de la paix en ont profité à leur tour et les progrès accomplis nous restent acquis, quand bien

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

même on ne fondrait et ne forgerait plus des canons et des projectiles monstres, comme ceux qui figurent au Champ-de-Mars et sous le pont d'Iéna.

Mentionnons, pour terminer, une dernière application guerrière de l'acier Bessemer, que cet inventeur a vivement préconisée, mais qui cependant ne paraît pas avoir été utilisée sur une large échelle.

M. Bessemer conseille d'ajouter une certaine quantité de son acier à la fonte destinée à couler les gros canons de la marine militaire. On obtient un métal d'un grain serré, fin et possédant beaucoup plus de ténacité que la fonte seule, même d'excellente qualité. Il est très-probable que le même résultat peut être atteint et à moins de frais par le *finage* soigné et rationnel de la fonte, accompli avec l'aide de l'insufflation d'air et sous l'influence de bonnes scories affinantes.

Voici quels sont les fabricants d'acier Bessemer en Angleterre :

	CONVERTISSEURS.		CONTENANCE tonnes.		tonnes
Henry Bessemer, à Sheffield.....	1	paire.	3	t. chacun.....	soit. 3
Sir John Brown —	1	—	3	— .... —	3
— —	1	—	10	— .... —	10
— —	1	—	5	(se monte en ce moment).	5
Cammell et Co. —	1	—	3	— .... —	3
— à Penistone.....	2	—	5	— .... —	10
Fox et fils —	1	—	3	— .... —	3
Railway Steel Co., à Manchester.....	1	—	5	— .... —	5
Lancashire Steel Co., —	1	—	5	— .... —	5
Bolton Steel et Iron Co., à Bolton.....	2	—	6	— .... —	12
Mersey steel Co., à Liverpool	1	—	5	— .... —	5
Barrow hématite Steel Co., à Barrow...	2	—	5	— .... —	10
	3	—	8	(pas encore en activité)	24
London et Nord Western Steel Co., à Crewe	2	—	5	— .... —	10
Dowlais Iron Co., à Merthyr Tidwill....	3	—	5	— .... —	15
Rowan, à Glascow.....	1	—	3	— .... —	3
Lloyd Foster Co., à Wednesbury.....	1	—	3	— .... —	3
Ebbw Vale Iron Co., à Poutypool.....	3	—	5	— .... —	15
Total.....	28	paires de convertisseurs transformant tonnes de fonte....			144

Chaque paire de convertisseurs pouvant effectuer huit char-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ges ou opérations par vingt-quatre heures, il en résulte que les 28 paires convertiront, $8 \times 144 = 1{,}152$ tonnes de fonte en acier Bessemer. La fonte perdant en moyenne un huitième de son poids par sa transformation en acier, les 1,152 tonnes de fonte produisent réellement $1{,}152 - 144 = 1{,}008$ tonnes d'acier, soit en nombres ronds 1,000 tonnes d'acier Bessemer par jour; et 1,000 tonnes d'acier par jour correspondent à la production énorme de 300,000 tonnes par année de 300 jours.

Ce chiffre formidable n'a cependant rien d'exagéré; il pourra être non-seulement atteint, mais même dépassé. Si la production réelle de l'Angleterre en acier Bessemer n'a pas excédé 140,000 ou 150,000 tonnes (ce sont là les chiffres résultant des renseignements, que des personnes compétentes ont bien voulu nous fournir), cela provient évidemment de ce que les convertisseurs n'ont pas encore fonctionné d'une manière très régulière et continue; il y a eu des tâtonnements, des essais manqués, des chômages prolongés par suite de grosses réparations ou de modifications apportées à tout le système des appareils, peut-être aussi par manque de commandes; car il ne faut pas perdre de vue qu'une paire de grands convertisseurs constitue un engin industriel d'une productivité extraordinaire; et dans de pareilles conditions il peut très-facilement arriver que la production dépasse momentanément la consommation, et que le manufacturier, pour éviter un trop onéreux encombrement, soit obligé d'arrêter pendant quelques temps ses appareils producteurs. Il faut, d'ailleurs, tenir compte de ce que deux convertisseurs, de cinq tonnes chacun chez Sir John Brown, et six convertisseurs, de huit tonnes chacun, chez Barrow (hématite Steel Company), ne sont pas encore entrés en activité.

Ces huit convertisseurs, que nous ayons cependant insérés dans notre tableau, ajouteront à eux seuls, lorsqu'ils fonctionneront, 60,900 tonnes aux 300,000 tonnes auxquelles nous avons évalué la puissance productrice de l'Angleterre en acier Bessemer. Sir John Brown a eu l'obligeance de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nous remettre quelques renseignements sur son importante et magnifique usine. Il occupe aujourd'hui 4,000 ouvriers et produit, outre les autres espèces d'acier, 35,000 tonnes d'acier Bessemer. Son établissement renferme : 50 fours à puddler, 48 fours pour fondre l'acier fondu au creuset, 80 fours à réchauffer, 40 marteaux-pilons, 16 trains de laminoirs, 84 machines à vapeur alimentées par 85 chaudières. Il possède en outre un outillage des plus puissants et des plus complets.

L'usine consomme par semaine environ 3,000 tonnes de fontes brutes et 5,000 tonnes de houille. On y produit, outre les 35,000 tonnes acier Bessemer déjà indiquées, encore environ 15,000 tonnes de plaques de blindage par an. En considérant qu'avant la fin de l'année Sir John Brown aura encore deux convertisseurs de cinq tonnes de plus, il n'y a pas de doute que sa production en acier Bessemer ne puisse s'élever à 50,000 tonnes par an, presque autant que la production totale des aciers fondus au creuset de tous les fabricants de Sheffield ensemble. Aussi, pour récompenser les éminents services rendus à l'industrie et à son pays par M. Brown, la Reine d'Angleterre vient de lui conférer le titre de « Sir John Brown. » Nous ajouterons encore que Sir John Brown a été le premier qui ait commencé en Angleterre la fabrication de l'acier Bessemer, et, avec la plus grande libéralité, il a permis à ses concurrents anglais et étrangers de visiter son établissement pour se mettre au courant de ce nouveau procédé.

Quant aux autres fabricants d'acier Bessemer, nous n'avons aucun renseignement précis sur leur production. Cependant notre excellent collègue et ami, le général d'artillerie Elorza, dont les connaissances étendues et la prodigieuse activité font l'admiration de tous ceux qui le connaissent, et qui voyage en ce moment en Angleterre, a bien voulu nous adresser de là quelques détails sur la fabrication des aciers et entre autres sur l'usine de *Barrow*, à Alverston.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette usine produit les fontes propres pour la fabrication de l'acier Bessemer avec des minerais hématites rouges (1).

On y a construit onze hauts fourneaux sur des terrains qui étaient nus et arides il y a huit ans. On y voit en activité quatre convertisseurs de six tonnes chaque avec deux poches ; et six convertisseurs, chacun de huit tonnes, avec deux autres poches seront bientôt mis en activité. Les fours à réverbère pour fondre la fonte sont remplacés par des cubilots de grandes dimensions.

Les aciers Bessemer qu'on produit dans cette usine sont pour rails, bandages, tôles, etc.

Les plus grands fabricants d'acier Bessemer (Sir John Brown et M. Cammell) étant en même temps (par suite de leur outillage grandiose) les plus forts producteurs de ces énormes plaques de fer dont la marine et le génie militaires font maintenant un si fréquent usage, nous croyons devoir ajouter quelques mots sur cette importante branche de fabrication. Cela nous paraît d'autant plus équitable que nous en avons parlé déjà lorsqu'il s'agissait des produits de MM. Petin Gaudet et Cie en France et de M. de Fridau en Autriche.

En Angleterre, on ne compte que trois établissements pour la fabrication des plaques pour cuirasses de vaisseaux et pour les fortifications. Ce sont : les *Atlas Steel* et *Iron Works*, de Sir John Brown ; la *Cyclope Steel and Iron Co*, de M. Cammell, à Sheffield ; et les *Mersey Steel et Iron Works*, à Liverpool. Les deux premiers établissements sont sans doute les plus importants pour cette fabrication. Sir John Brown et M. Cam-

(1) Voici l'analyse de ces fontes :

4.50	silicium.
3.50	graphite.
0.08	carbone combiné.
0.04	phosphore.
0.09	soufre.
0.37	manganèse.
91.22	fer.
100.	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mell peuvent être placés sur la même ligne, en ce que leurs plaques résistent également bien aux épreuves de réception auxquelles elles sont soumises ; mais la production de Sir John Brown est plus considérable que celle de M. Cammell. En effet, le premier produit par semaine 300 et 400 plaques de cuirasses toutes finies, et, en outre, 200 tonnes de plaques plus minces pour les chaudières des bâtiments de guerre et autres usages, tandis que M. Cammell ne produit par semaine que 240 tonnes de plaques, qui se réduisent à 200 tonnes lorsqu'elles sont rabotées, aplanies, courbées et percées. Les deux fabricants peuvent faire des plaques jusqu'à l'épaisseur de 18 pouces anglais (46 centimètres). Le général Elorza a vu chez M. Cammell un échantillon d'une plaque de 14 pouces (35 centimètres et demi), et chez Sir John Brown une plaque de 15 pouces (38 centimètres), qu'on venait d'étirer et qui était parfaitement soudée.

Nous sommes heureux d'avoir pu insérer dans notre rapport l'opinion d'un homme aussi compétent, en cette matière, que l'est le général Elorza.

CHAPITRE VI.

FABRICATION DE LA BELGIQUE.

La Belgique est peu favorisée sous le rapport des minerais propres à la fabrication des fontes à acier. Elle ne produit avec ses fontes que des aciers puddlés, et pour y parvenir plusieurs hauts fourneaux ont même dû mélanger leurs propres minerais avec des minerais plus purs tirés de l'Allemagne. Les aciers puddlés pour les usages ordinaires (pièces de machines, bandages, etc.,) se fabriquent bien en Belgique et il y en avait d'assez beaux spécimens à l'Exposition (Ongrée, Montigny etc.). Divers produits en aciers puddlés s'exportent sur les marchés étrangers, même dans les pays

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui produisent d'excellents aciers. Mais pour les aciers de qualité supérieure la Belgique est obligée de s'adresser à l'étranger. Depuis quatre ans, la société Cockerill a introduit le procédé Bessemer dans ses usines, mais elle tire ses fontes d'Angleterre. Les fontes belges sont jusqu'ici rebelles à l'emploi du procédé Bessemer, ce qui explique le peu d'extension que cette fabrication a reçu dans le pays. L'industrie de l'acier est donc peu importante en Belgique ; elle ne produit que les qualités ordinaires, employées dans les grosses forges et pour les divers usages, qui ne réclament pas des aciers fins.

CHAPITRE VII.

FABRICATION DE LA SUÈDE.

§ 1. — Caractère de la fabrication.

La Suède est peut-être de tous les pays de l'Europe celui qui a été le plus favorisé par la nature pour la production de la fonte et des fers de qualité tout à fait supérieure et par conséquent aussi pour la fabrication de l'acier, pour lequel ces fontes et ces fers servent de matière première.

Les chaînes de montagnes dont le pays est traversé donnent naissance à des fleuves nombreux et considérables, qui présentent souvent dans leur parcours des chutes imposantes et mettent à la disposition des maîtres de forges des forces hydrauliques à bon marché, régulières et souvent d'une grande puissance (1). La seule chute du fleuve Gota à Vener-

(1) Les hivers étant longs et rigoureux en Suède, ces cours d'eau doivent être souvent gelés, et les usines purement hydrauliques sont exposées en conséquence à des chômages longs et onéreux.

D'un autre côté, les étés étant courts et la végétation rapide les travaux des champs exigent par moment le concours de tous les bras disponibles, même de ceux occupés par l'industrie. Et c'est dans ces deux causes qu'il faut chercher celle du faible rendement des hauts fourneaux et des forges suédoises.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sborg où il sort du grand lac Vener, possède une force effective de 260,000 chevaux, dont 130,000 pourraient être utilisés. La Suède est en outre sillonnée d'un grand nombre de lacs (dont quelques-uns d'une vaste étendue), de rivières et de canaux, qui facilitent la communication intérieure; aussi la navigation à vapeur y est-elle très-active.

Il n'y a aucun État en Europe, où, proportionnellement à l'étendue du territoire, les forêts occupent une aussi grande superficie qu'en Suède ; la partie productive seule de ces forêts est déjà évaluée à 12,835,000 hectares. Elles offrent donc des ressources presque illimitées pour la production du charbon de bois, qui y est principalement fait avec le bois de sapin. Il est cependant à remarquer que l'exportation des bois (principalement pour la Grande-Bretagne) a pris, dans ces dernières années, un tel développement et s'est accrue si rapidement, qu'elle menace de dépasser les ressources actuelles des forêts de la Suède; aussi un meilleur aménagement y a-t-il été reconnu urgent et le gouvernement a-t-il déjà pris des mesures, pour un contrôle plus actif des forêts de l'État et de celles qui sont situées sur les terrains dont il est propriétaire.

Mais ce qui, plus que les forêts, constitue la richesse de la Suède, c'est l'abondance et la pureté exceptionnelles de ses minerais de fer. Dans les montagnes, le fer est si généralement répandu, qu'on trouverait avec peine une seule province dans le nord et dans le centre de la Suède, qui soit privée de ces précieuses ressources métalliques. Beaucoup de mines, surtout dans le nord, ne sont pas encore exploitées, faute de moyens de communication, mais on s'occupe activement à les établir. La fabrication du fer et de l'acier qui en ce moment est principalement concentrée au centre de la Suède, si l'on y ajoute la Dalécarlie, savoir : dans les gouvernements de Kopperberg, d'Oberg et de Wermland, pourrait donc bien se déplacer plus tard et se porter plus au nord.

Les minerais de fer des montagnes sont constitués principalement par le fer oligiste (Péroxyde anhydre), l'hématite, le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fer oxydulé magnétique et le fer spathique. Beaucoup de ces minerais sont manganésifères. Les gangues sont le quartz, le grès, le granit et d'autres roches, ne contenant ni soufre, ni phosphore. C'est à l'absence de ces métalloïdes si nuisibles qu'on attribue avec raison la qualité si supérieure des fontes et fers de la Suède.

L'exploitation des minerais de montagne, qui rendent de 50 à 65 pour 100 de fonte, s'est beaucoup développée depuis une trentaine d'années. De 5,271,346 quintaux suédois, en 1835, elle s'est élevée, en 1865, à 11,681,729, c'est-à-dire à environ 500,000 tonnes (le quintal suédois équivaut à 42k508).

Les célèbres mines de Danemora, dans la province d'Upsala, ont fourni 20 mille tonnes de minerais.

Outre le minerai en roche, on trouve encore souvent du minerai de fer à fleur de terre, soit sous forme de petits grains de sable ferrugineux sur les bords des lacs, ou en minerai plus oxydé et de nature limoneuse dans les lacs et marais, à Smaland, Vermland, Semtland et autres provinces. Ce minerai, dont l'exploitation à triplé depuis 1835 (elle était alors de 138,000 quintaux suédois, et, en 1865, elle s'est élevée à 477,603), est généralement phosphoreux. Il fournit des fontes excellentes pour la moulerie.

L'industrie métallurgique du fer est représentée, en Suède, par des forges très-nombreuses; mais aucune ne présente une très-grande importance. Il y avait en activité, en 1865, 219 hauts fourneaux (sur 299), qui n'ont travaillé, en moyenne, que cent cinquante jours par an (1), en produisant 227,000 tonnes de fonte. Cette quantité aurait donc pu être obtenue avec la moitié de ce matériel.

Les usines, souvent trop rapprochées, se nuisent l'une à l'autre, et, par suite d'une trop grande dissémination du travail, le prix de revient est trop élevé; les maîtres de forges, ne

(1) Dans la page précédente (page 416), nous avons indiqué les deux principales causes de ces chômages.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

produisant comparativement que peu de fonte, sont obligés de prendre de plus gros bénéfices que s'ils travaillaient par masses; aussi les demandes ne se multiplient pas comme cela arriverait, si les prix de vente étaient moins élevés.

Les procédés employés sont semblables à ceux des autres pays qui produisent également des fontes au bois. Nous ferons seulement remarquer que le minerai en roche est toujours soumis au grillage, dans des fours chauffés par les gaz des hauts fourneaux, comme cela se pratique également en Styrie, Carinthie, etc. Ces hauts fourneaux sont généralement de dimensions restreintes (10 à 12 mètres de hauteur), et ne fournissent en moyenne que 1,000 tonnes de fonte par an. On en a cependant construit dans ces dernières années qui peuvent produire le double. La majeure partie de la fonte est affinée au charbon de bois et transformée en fer en barres dont l'exportation, surtout en Angleterre, est très-importante.

On sait que les meilleurs aciers fondus ne peuvent être produits qu'avec certains fers de Suède, et, jusqu'ici, après de nombreuses tentatives, il a été reconnu impossible de s'en passer.

La fabrication de l'acier est restée longtemps très-restreinte en Suède. On y produisait annuellement environ 3,000 tonnes d'aciers cémentés et naturels simplement étirés ou corroyés, mais non fondus. Très-récemment, une seule forge a commencé à puddler l'acier au charbon de bois.

Mais par contre, la fabrication de l'acier Bessemer y a pris rapidement une grande importance. On pourrait presque dire que la Suède en a été le véritable berceau. En effet, lorsque partout, en Angleterre, les essais avaient manqué, lorsque tout le monde était découragé et considérait presque unanimement l'invention de M. Bessemer comme une grande déception, un maître de forges suédois qui, pendant un séjour en Angleterre, y avait pris connaissance du procédé, dès son retour en Suède répéta l'expérience. Des essais

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

furent entrepris à Edsken, usine appartenant à la Société de Hogbo; on y opérait sur les belles et pures fontes suédoises, aussi le résultat fut-il des plus satisfaisants; on obtint de prime abord un acier de bonne qualité. Cette réussite encouragea la Société à construire à Sandviken une nouvelle usine, exclusivement destinée à la mise en pratique du procédé Bessemer. L'usine comprend un grand haut fourneau, alimentant directement deux convertisseurs, avec un puissant outillage pour le martelage et le laminage des lingots. L'exemple donné par Edsken fut bientôt suivi; et la production de l'acier Bessemer prit un accroissement rapide. De 23,681 quintaux suédois en 1861, elle monta en 1865 à 104,033, soit environ 4,500 tonnes.

La manière d'opérer est un peu différente de celle qui est suivie dans les autres pays. Partout on coule la fonte directement des hauts fourneaux dans une poche et de celle-ci dans les convertisseurs. Parmi ces derniers, il y en a qui sont fixes et d'autres rotatifs; ils contiennent de 2 à 5 tonnes. On arrête ordinairement la décarburation, lorsqu'on arrive au point où l'on croit que le métal ne contient plus que la proportion de carbone qu'il doit renfermer à l'état d'acier. On ajoute alors une petite quantité de fonte très-manganésifère, mais cette addition est faite plutôt en vue du manganèse, que du carbone renfermé dans cette fonte. On déverse enfin l'acier dans la poche à coulage, qui le répartit dans les lingotières. Il ne serait pas impossible que le manganèse fût ajouté sous une forme autre que celle de fonte, mais nous n'avons pas de données précises à cet égard.

Beaucoup de minerais de fer de la Suède étant d'ailleurs manganésifères, rien ne doit s'opposer à l'emploi de leurs fontes pour recarburer un peu le métal du convertisseur, avant la coulée, dans les cas où une addition de fonte serait jugée utile. Quoi qu'il en soit, on comprend que, en arrêtant ainsi la décarburation dans le cours de l'opération, l'on ne soit pas très-certain de la proportion de carbone laissée dans le mé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tal; car telle coulée peut facilement contenir deux fois plus de carbone que telle autre.

Aussi, pour être bien fixé sur la quantité de carbone renfermée dans l'acier ainsi obtenu, on ne se contente pas de juger de la qualité de l'acier d'après son grain; on prélève, après chaque opération, des échantillons, sur lesquels on opère le dosage du carbone. Cet usage devrait être suivi dans d'autres pays, et, pour cette raison, nous croyons utile de donner ici quelques détails sur la manière dont on procède en Suède pour doser le carbone.

Évidemment cela ne peut se faire par une analyse chimique complète de l'acier, car on ne sait que trop combien une pareille analyse est longue, délicate et difficile.

En Suède, on suit la méthode analytique du professeur Eggertz, directeur de l'École des Mines, à Falun, qui a su habilement substituer aux anciennes méthodes de séparation et de pesées la méthode colorimètrique, d'une application très-rapide et cependant suffisamment exacte pour être préférée dans la pratique

Le procédé analytique de M. Eggertz repose sur les données qui sont indiquées dans la note ci-dessous (1); et se trouve décrit en entier dans le *Bulletin de la Société chimique de Paris*, page 226 et suivantes. Nous espérons que cette méthode d'analyse si simple et si expéditive ne tardera

(1) *Dosage du carbone chimiquement combiné au fer.*

Lorsqu'on dissout dans l'acide nitrique de l'acier ou de la fonte renfermant du carbone en combinaison chimique, il se forme une matière colorante brune soluble, d'un pouvoir tinctorial assez intense, et la solution prend une teinte d'autant plus foncée que la proportion de carbone chimiquement combiné est plus grande.

Le fer et le graphite (ou le carbone non combiné) n'influent pas sur la coloration, car la solution de nitrate ferrique est incolore ou tout au plus légèrement verdâtre, à moins d'être extrêmement concentrée, et le graphite est insoluble dans l'acide nitrique.

En dissolvant donc deux morceaux d'aciers différents, mais de même poids, dans l'acide nitrique, en ayant soin d'étendre d'eau la solution la plus foncée, jusqu'à ce que les deux liqueurs présentent exactement la même coloration, il est bien évident que l'acier le plus carburé fournira le plus grand volume

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pas à être également pratiquée en France ; et nous la recommandons beaucoup, non-seulement aux fabricants, mais aux grands consommateurs d'acier.

de liqueur et le rapport des volumes indiquera les proportions relatives de carbone dans les deux aciers.

Si maintenant la composition et la teneur en carbone de l'un de ces aciers est connue, on en déduira immédiatement la proportion absolue du carbone dans l'autre acier.

Supposons qu'on ait dissout 1 gramme de chacun des deux aciers (a et b) et que les volumes des solutions, ramenées au même degré de coloration, aient été dans le rapport a : b :: 5 : 7. Sachant que l'acier (a) renferme pour 100 de carbone, on en déduira de suite que l'acier (b) contient 1,4 pour 100 de carbone.

Pour l'application de cette méthode analytique, il faut prendre certaines précautions, que nous allons indiquer rapidement.

Dans un tube d'essai cylindrique, on dissout peu à peu à froid 0gr 1 (10 centigrammes) de fer, d'acier ou de fonte, réduits en poudre fine, dans 1,5 à 5 centimètres cubes d'acide nitrique de 1. 2. pes : spécif. (environ 23° de l'aréomètre Beaumé). Il faut éviter l'emploi d'un acide nitrique renfermant de l'acide hydrochlorique, parce que la dissolution de fer prendrait une coloration jaune. Il faut d'autant plus d'acide nitrique que le métal renferme plus de carbone. Après quelque temps, lorsque la majeure partie du métal paraît attaquée, on place le tube dans un bain-marie ne contenant qu'une couche d'eau d'environ 15 millimètres de hauteur, et l'on chauffe à 80° centigrades. Dans cette position la partie inférieure du tube est seule en contact avec l'eau chaude; il en résulte un mouvement dans l'acide, qui favorise sa réaction sur le métal; on observe un léger dégagement d'acide carbonique de toutes les particules de carbone. Il faut tâcher d'opérer dans des conditions toujours identiques de temps et de chaleur.

Le dégagement de gaz ayant cessé (en opérant sur l'acier, il faut laisser réagir 2 à 3 heures), on place le tube dans un grand vase rempli d'eau de puits, pour ramener la solution toujours à la même température. Cette précaution est indispensable, puisque la même liqueur présente une coloration plus intense à chaud qu'à froid. On décante ensuite aussi exactement que possible la partie claire et liquide dans une éprouvette graduée.

Sur le résidu noir retenu dans le tube, on verse quelques gouttes d'acide nitrique et l'on chauffe avec précaution au-dessus de la lampe. S'il n'y a plus de dégagement de gaz, le résidu ne consiste plus qu'en graphite ou silice.

On refroidit la nouvelle solution et on la réunit à celle qui se trouve déjà dans la burette graduée.

La liqueur de cette burette est enfin étendue d'eau jusqu'à ce que sa coloration corresponde exactement à celle de la liqueur normale.

Cette dernière doit être d'une concentration telle que chaque centimètre cube corresponde à 0gr 0001 de carbone.

Si on la prépare par exemple avec un acier fondu renfermant exactement 0,85 pour 100 de carbone, il faut dissoudre un décigramme de cet acier dans 8,5 centimètres cubes d'acide nitrique.

Dans ce cas, 100 grammes d'acier renfermant 85 centigrammes de carbone

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Outre le procédé si simple et si original du dosage du carbone dans les fontes, fers et aciers, on doit aussi à M. Eggertz des méthodes pour le dosage du phosphore et du soufre dans ces mêmes matières et dans les minerais de fer. Ces méthodes reposent à la vérité sur des réactions déjà connues et en usage dans les laboratoires analytiques; mais M. Eggertz a le grand mérite d'avoir étudié avec beaucoup de soin les conditions et les circonstances dans lesquelles on obtient les résultats les plus concordants et les plus certains, d'avoir indiqué les précautions à prendre et d'avoir formulé des instructions qui permettent d'opérer avec beaucoup de facilité et de sécurité. En suivant exactement ces prescriptions, on se familiarise rapidement avec

seraient dissous dans 8,500 centimètres cubes de solution normale; 100 centimètres cubes de cette solution représentent donc un centigramme de carbone, et par suite un centimètre cube de solution normale représente 0gr 0001 de carbone. La solution normale ne se conserve pas et doit souvent être renouvelée, puisqu'elle se décolore déjà sensiblement au bout de 24 heures. On peut lui substituer une solution de sucre, convenablement caramélisé, dans de l'eau alcoolisée, présentant exactement la même teinte; cette solution se conserve beaucoup plus longtemps sans altération sensible; un gramme de er ne pouvant guère être dissous dans moins de 15 centimètres cubes d'acide nitrique, il s'en suit qu'on ne peut doser, au moyen de la liqueur normale, une proportion de carbone inférieure à 0,15 pour 100; mais cette limite inférieure se présente bien rarement dans la pratique.

Si la proportion de carbone dépasse 0,5 pour 100, la solution ferrugineuse est tellement concentrée qu'elle présente une légère teinte verdâtre, qui rend difficile sa comparaison avec la liqueur normale. Dans ces cas on prépare une liqueur normale trois fois plus faible, en étendant la liqueur normale type de deux fois son volume d'eau. Chaque centimètre cube de la liqueur ne correspond plus alors qu'à 1/3 de dix millièmes de gramme de carbone. Si la proportion de carbone dans l'échantillon à analyser est très-forte (comme par exemple pour les fontes blanches), on n'opère que sur 0gr 05 de métal, et dans ce cas un demi centimètre cube de cette solution correspond à un centimètre cube de la solution normale. Si le métal à analyser renferme du graphite, on recueille celui-ci sur un filtre, avant d'introduire la solution dans la burette.

Cette méthode est d'autant plus exacte que la proportion de carbone est moins considérable.

Avec une balance exacte et une installation convenable, un grand nombre de dosages de carbone peuvent être effectués avec une approximation suffisante pour la pratique, dans un temps relativement très-court.

Tout l'acier Bessemer fabriqué à Edsken, est marqué, après l'étirage, par des chiffres exprimant sa dureté, d'après les indications de la méthode d'analyse colorimétrique du professeur Eggertz.

Il va de soi, qu'on ne doit opérer qu'avec des burettes en verre parfaitement incolores ou du moins présentant toutes la même teinte.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les méthodes analytiques recommandées par M. Eggertz, et l'on parvient à obtenir des résultats suffisamment exacts pour la pratique, dans un temps relativement court pour ce genre d'analyses.

Pour le dosage du *phosphore*, on dissout les fers, fontes et aciers ou les minerais de fer, dans un volume donné d'eau régale, constituée par un mélange à volumes égaux d'acide nitrique et hydrochlorique d'une densité déterminée. Après digestion au bain-marie et filtration, on précipite l'acide phosphorique par un excès donné de liqueur molybdique (solution de molybdate et d'ammoniaque dans l'acide nitrique), on fait digérer à 40°, et dans des conditions très-exactement indiquées, pour obtenir une précipitation parfaite. Le précipité orange, renfermant tout l'acide phosphorique, est enfin recueilli sur filtre taré et lavé avec une eau acidulée par de l'acide nitrique, puis séché à 100° et pesé ; son poids donne la proportion d'acide phosphorique et par suite du phosphore renfermé dans la substance analysée.

Pour le dosage du *soufre*, M. Eggertz conseille de traiter les fers, fontes et aciers par un mélange bien bouillant d'eau, de chlorate de potasse et d'acide hydrochlorique, et de précipiter dans la liqueur filtrée l'acide sulfurique formé par le chlorure de barium. Il a indiqué toutes les précautions à prendre pour opérer cette précipitation et recueillir le sulfate de baryte sur filtre, le laver et le sécher. Pour la détermination du soufre dans le minerai de fer, on suit la même méthode ; mais le minerai pouvant contenir du plomb, de la chaux, de la baryte et de la strontiane, une certaine quantité d'acide sulfurique peut rester insoluble ou peu soluble à l'état de sulfates de ces bases. M. Eggertz fait connaître comment il faut procéder dans ce cas pour obtenir cependant tout le soufre à l'état de sulfate de baryte.

Mais à côté de cette méthode analytique par pesée très-exacte, mais un peu longue, M. Eggertz a également indiqué une méthode colorimétrique reposant sur la réaction de l'hy-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

drogène sulfuré sur une plaque d'argent, réaction qui, suivant son intensité, donne lieu à des colorations diverses, passant du jaune au jaune brun, au brun de tombac, au brun bleuâtre, au bleu, enfin au bleu grisâtre.

Le fer, la fonte ou l'acier réduits en limaille sont soumis, dans un vase d'une forme déterminée et dans des conditions toujours identiques, à l'action de l'acide sulfurique étendu d'une certaine quantité d'eau. Dans ce même vase, on suspend à un fil d'argent ou de platine une plaque d'argent ou plutôt de cet alliage d'argent et de cuivre qui constitue les monnaies; cette plaque est parfaitement nettoyée. Il se dégage, suivant la proportion de soufre contenue dans le métal, une quantité plus ou moins grande d'hydrogène sulfuré qui, agissant sur la plaque, la colore. La nuance de la coloration permet de connaître, avec une approximation suffisante, la proportion du soufre dans la matière analysée.

Pour appliquer cette méthode à la recherche du soufre dans le minerai de fer, on réduit celui-ci dans un creuset en fonte, brasqué avec des précautions particulières, et on le soumet ensuite à l'essai indiqué.

M. Eggertz a également publié très-récemment des instructions pour le dosage du *manganèse*, dans les minerais de fer et dans les fontes, fers et aciers.

La méthode analytique qu'il décrit repose sur la dissolution du fer et du manganèse dans l'acide hydrochlorique, sur la peroxydation du sel ferreux au moyen d'acide nitrique, après séparation de la silice, enfin, sur la précipitation du fer à l'état de sous-sel insoluble par l'ébullition avec l'acétate de soude qui laisse le sel de manganèse dans la dissolution. Après lavage suffisant, le manganèse est enfin précipité à l'état d'hydrate de suroxyde manganique par une addition de brome; le précipité est recueilli sur filtre taré, lavé, séché à 100° et pesé. Il renferme 59,20 pour 100 de manganèse.

M. Eggertz s'est assuré expérimentalement qu'en suivant bien exactement les instructions données par lui avec tous les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

détails nécessaires, on obtient des résultats certains et comparables.

Pour le dosage du *silicium* dans les fers, fontes et aciers, M. Eggertz a aussi publié une instruction pratique. Comme la fonte et l'acier sont rarement entièrement exempts de scories interposées, dans la composition desquelles entre une forte proportion de silice, il était nécessaire d'employer pour la dissolution du métal un réactif qui fût sans influence sur la scorie. Aussi la méthode de M. Eggertz repose-t-elle sur l'attaque des fontes et aciers par l'iode et le brome, avec le concours de l'eau et à la température la plus basse possible. Dans ces conditions, la scorie reste intacte, tandis que le fer entre en solution, et l'on parvient ainsi à obtenir son silicium, séparé de celui de la scorie et pouvant être dosé isolément. Le procédé analytique est assez délicat, mais avec quelque expérience, on arrivera bientôt à l'appliquer d'une manière satisfaisante et avec des résultats suffisamment exacts.

Nous sommes heureux de pouvoir ajouter que les cinq méthodes d'analyse de M. Eggertz que nous venons d'énumérer, seront enseignées par notre savant collègue et ami M. Peligot, membre de l'Institut, dans ses cours au Conservatoire des arts et métiers et à l'École centrale.

Nous avons la conviction que le procédé Bessemer peut devenir pour la Suède une grande source de richesse. Ce pays est véritablement le sol où ce procédé peut s'acclimater et se développer dans les conditions les plus favorables.

Mais pour bien profiter de ces précieuses ressources, il ne suffit pas de savoir fabriquer des aciers d'excellente qualité et à des prix de revient modérés, il faut aussi savoir les vendre, c'est-à-dire, il faut être en même temps *bon commerçant* et *excellent fabricant;* et nous craignons que la réunion de ces deux qualités ne fasse trop souvent défaut chez les maîtres de forges suédois. En effet, il n'y a en Suède que de petites forges; elles sont en très-grand nombre, mais chacune est peu importante. On a bien essayé de concentrer la fabrication;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mais ces essais ont malheureusement échoué ou n'ont pas eu le succès qu'on en attendait.

Quelle peut être la cause de cet insuccès ?

Elle nous paraît résider dans la difficulté, sinon l'impossibilité, de fonder aujourd'hui une grande forge de fer, sans avoir la houille à des prix modérés. La Suède ne possédant pas de houille (les houillères qui peuvent s'y trouver ne présentent dans tous les cas qu'une faible importance actuelle), il est fort à craindre que tous les efforts tentés dans le but d'une création de grands centres métallurgiques n'échouent, tant que durera cette pénurie de houille à bon marché. Mais si la centralisation manufacturière, au moins dans les conditions actuelles, rencontre de trop grands obstacles, il n'en est pas de même de la centralisation commerciale, qui présenterait, pour la Suède surtout, des avantages considérables.

Un certain nombre de maîtres de forges pourraient parfaitement s'associer et créer une espèce de comptoir, pour le placement et la vente de leurs produits, tout en conservant chacun sa complète indépendance quant à la gestion de son usine. De semblables associations existent et prospèrent déjà ailleurs, et nous ne voyons pas pourquoi il n'en serait pas de même pour la Suède.

Un comptoir peut opérer beaucoup plus économiquement que l'individu isolé ; ses transactions, étant multiples et sur une grande échelle, ne sont point fortement grevées par les frais généraux ; il offre une grande facilité pour nouer des relations avec les pays étrangers, et, par cela même, pour faire connaître et apprécier les produits dont il recherche les placements ; il permet de se passer de cette multitude d'intermédiaires actuellement existants entre le producteur et le consommateur, et qui, aux dépens des deux, n'absorbent que trop souvent le plus clair des bénéfices, font renchérir le prix des produits et en entravent ainsi le développement et la consommation. Un comptoir peut plus facilement conclure des traités avec les entreprises de navigation et les compa-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gnies de chemins de fer, pour obtenir, par des tarifs de faveur, une diminution très-notable dans les frais de transport. Étendant sa sphère d'activité non-seulement aux exportations, mais encore aux importations, il parviendra à réaliser l'échange des produits dans les conditions les plus favorables possibles.

Le tableau suivant de la production de la Suède en 1835 et en 1865, non-seulement constate les progrès accomplis dans l'intervalle de ces deux époques, mais démontre aussi, puisqu'une grande partie de la production métallurgique Suédoise est exportée, combien les opérations d'un pareil comptoir seraient susceptibles d'être conduites sur une échelle importante et grandiose.

Production de la Suède

(En quintaux suédois, équivalent à 42 kilogrammes ½ chacun.)

	1835.	1865.	
Minerais des montagnes.....	5,271,346	11,681,729	Quintaux suédois.
Minerais en grains et limoneux	138,000	477,602	*Idem.*
Fonte de fer.....	2,293,377	5,205,472	*Idem.*
Fonte de fer ouvragée.....	74,606	322,712	*Idem.*
Fers en barres.....	1,638,373	3,491,940	*Idem.*
Fers manufacturés et Acier..	179,335	639,729	*Idem,*

Cette production, déjà si importante maintenant, se développera encore bien davantage, si les maîtres de forges suédois s'appliquent à tirer le meilleur parti possible des avantages dont la nature les a favorisés, et qui résident dans leur excellent minerai et dans leur grande richesse forestière.

Cette situation privilégiée demande cependant à être exploitée à la fois avec intelligence et prévoyance. La richesse minérale est inépuisable, mais il n'en est pas de même de la richesse forestière. Cette dernière doit être ménagée avec soin et économie; car l'augmentation de la population et de ses besoins provoquera le renchérissement plus ou moins rapide des bois, comme cela a lieu dans tous les autres pays.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La Suède a tout intérêt à s'occuper de la création de bonnes routes et même de chemins de fer arrivant jusqu'au centre des forêts et permettant aux forges de s'y établir. Il ne faut pas oublier que les minerais sont généralement d'un plus facile transport que le combustible, surtout si ce dernier est du charbon de bois, très-léger, volumineux et sujet à détérioration par le charriage. L'établissement de forges au centre des forêts arrêtera ou du moins retardera beaucoup le déboisement, qui déjà menace les principaux districts métallurgiques de la Suède. Mais ce qui contribuera encore considérablement à sauvegarder et améliorer les conditions favorables à la production de la fonte et de ses dérivés, c'est l'extension et le développement de la fabrication de l'acier par le procédé Bessemer.

En effet, comme nous l'avons déjà fait remarquer, la Suède peut produire des fontes d'une pureté exceptionnelle et de propension extraordinairement aciéreuse, à des prix très-raisonnables. Ces fontes pouvant être coulées directement du haut fourneau dans les convertisseurs Bessemer, en s'y transformant du premier jet, et sans exiger une nouvelle dépense de combustible en lingots d'acier de très-bonne qualité, il s'en suit que ces lingots pourront être livrés au commerce à très-bon marché, tout en constituant un produit rémunérateur pour les maîtres de forges. Ceux-ci devront seulement tâcher d'arriver, par des soins minutieux, par une attention soutenue et par des efforts persévérants, à perfectionner le plus possible ce genre de fabrication, afin de produire, d'une manière certaine et constante, les lingots de la meilleure qualité. Rien ne devra être épargné pour atteindre ce but : il faut multiplier les essais, perfectionner l'outillage, comparer les aciers Bessemer fabriqués en Suède avec ce qu'on fait de mieux dans ce genre dans d'autres pays, et ne point se reposer jusqu'à ce qu'on ait acquis une supériorité incontestable et incontestée. Si avec cela les maîtres de forges de la Suède se pénètrent bien de cet axiome d'économie commerciale et industrielle,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'il vaut mieux, en fin de compte, prendre de petits bénéfices et vendre beaucoup, que de prendre de gros bénéfices et vendre peu ; et si, le mettant en pratique, ils livrent leurs lingots Bessemer à des prix très-modérés, nous avons la conviction que la fabrication et l'exportation des lingots prendront un développement extraordinaire. Ils ne peuvent manquer d'être appréciés et recherchés, et une fois qu'ils auront été reçus avec faveur sur les marchés étrangers, on ne les en délogera plus que très-difficilement ; car les consommateurs, qui auront trouvé avantage à les employer et qui y seront habitués, n'y renonceront pas facilement et continueront à les demander.

Les lingots Bessemer de la Suède pourront surtout trouver de grands débouchés en Angleterre, en France et en Allemagne, parce que, dans ces trois pays, où la houille est abondante et à bon marché, l'étirage et la transformation de ces lingots pourront s'opérer très-économiquement et d'une manière plus avantageuse même que cela ne pourrait se faire en Suède. La fabrication des lingots d'acier Bessemer n'augmentera en rien la consommation du bois ; bien au contraire, elle peut même la diminuer, si une partie de la fonte, qui jusqu'ici était affinée et transformée en fer en barres (ce qui occasionne une grande dépense de combustible végétal), se trouvait convertie en acier Bessemer. Le charbon de bois ainsi économisé sera employé avantageusement à augmenter la production des fontes aciéreuses, laquelle, à son tour, agira favorablement sur le développement de la fabrication du fer et de l'acier.

Nous souhaitons aux maîtres de forges suédois qu'à leur commerce déjà si important de fontes aciéreuses et de fers à acier vienne s'adjoindre, parallèlement et avec une importance au moins égale, l'exportation de lingots Bessemer ; nous ne doutons pas que ces derniers puissent acquérir sur les marchés une réputation et une vogue analogues à celles des fontes et fers suédois.

Mais on ne saurait trop le répéter, cela ne se réalisera qu'à la condition d'opérer les plus grandes économies possibles sur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les frais de transaction et de transport, et de coter sur place les lingots Bessemer aux prix les plus réduits. Certainement les maîtres de forges suédois pourront y arriver, et, pour le prouver, nous leur signalerons le fait suivant, que nous avons été à même de constater dans le cours de notre travail.

L'Autriche, ou plutôt la Styrie, qui se trouve à peu près dans les mêmes conditions de production, pour les aciers Bessemer, que la Suède (si ce n'est qu'elle a plus de lignite que cette dernière), vend ses lingots d'acier Bessemer à meilleur marché. Pourtant les qualités d'acier de certaines forges de Styrie ne diffèrent guère de celles de la Suède. C'est ainsi que l'usine de Neuberg, qui a envoyé à l'Exposition de très-beaux spécimens d'acier Bessemer, livre ses lingots, pris à l'usine, à raison de 300 francs la tonne (1,000 kilogrammes), tandis qu'en Suède les mêmes aciers se vendent 350 francs. A la vérité, en Autriche, l'acier est à prendre à l'usine, tandis qu'en Suède il est livré à bord du navire; mais, par contre, il y a en Autriche un agio sur l'argent qui ne s'élève pas à moins de 15 à 20 pour 100. Si l'Angleterre a dominé si longtemps sur tous les marchés du monde, c'est qu'elle a mis en pratique de bonne heure le précepte de vendre bon marché, mais de produire par masses; elle a pu ainsi écraser ses rivaux et anéantir toute concurrence. Pour ne pas être injuste envers l'industrie, il est bon d'ajouter que, pour produire des masses, il faut d'abord en avoir le placement, et ce sont les immenses relations commerciales de l'Angleterre avec le monde entier qui le lui procurent.

Mais, par suite d'une multitude de causes (chemins de fer, navigation à vapeur, traités de commerce, instruction plus variée et plus répandue, etc.), les relations internationales tendent à devenir de plus en plus faciles et fréquentes, et, à mesure qu'elles se multiplieront, chaque peuple participera aux avantages commerciaux que l'intelligence, la persévérance, l'énergie et le génie du peuple anglais lui ont assurés déjà depuis une longue série d'années.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 7. Produits exposés.

Parmi les exposants suédois, nous citerons particulièrement :

Chr. Aspelin, à Norberg et Fagersta (Suède).

M. Aspelin est le manufacturier suédois qui a exposé les plus beaux échantillons d'acier Bessemer, présentant, selon toute apparence, une grande dureté unie à beaucoup de nerf. Il a deux convertisseurs contenant 1,700 kilogrammes chacun, et il fait ordinairement 150 coulées par mois. La fonte est prise directement au haut fourneau (bien entendu au moyen d'une poche). M. Aspelin possède deux hauts fourneaux au charbon de bois, qui produisent ensemble environ 4,000 tonnes par an. Mais les appareils ne sont encore appliqués qu'à un seul haut fourneau, dont la production annuelle, en acier Bessemer, peut s'élever à 2,000 tonnes. Les convertisseurs sont encore des appareils fixes, non pivotants, et l'on arrête l'opération lorsqu'on croit que la décarburation est arrivée au point voulu; il n'y a point d'adjonction de fonte miroitante.

Dans notre description du procédé Bessemer, sous la rubrique *Angleterre*, nous avons indiqué les défauts des appareils fixes et les avantages des appareils mobiles; mais à en juger par les aciers envoyés à l'Exposition par M. Aspelin, il faut croire que la pureté de ses fontes et l'expérience de ses ouvriers remplacent et corrigent ce que les convertisseurs fixes peuvent présenter de défectueux.

M. Aspelin estime qu'il lui faut 1,250 kilogrammes de fonte, pour obtenir une tonne acier fondu Bessemer en lingots; et ces 1,250 kilogrammes exigent eux-mêmes 1,125 kilogrammes de charbon de bois et 2,500 kilogrammes de lit de fusion, pour leur production dans le haut fourneau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'analyse des fontes de Fagersta a donné les résultats suivants :

2, 14 — 1, 01	carbone combiné.
2, 73 — 3, 53	graphite.
0,026 — 0,031	phosphore.
0,015 — 0,010	soufre.
0, 64 — 0,850	silicium.
2, 93 — 1, 92	manganèse.

L'acier Bessemer produit avec ces fontes est d'une composition et, par suite, d'une nature à peu près régulière, à l'exception de la proportion de carbone, qu'on fait varier suivant les usages auxquels l'acier est destiné.

Nous donnons ci-dessous, d'après M. Aspelin, le tableau des quantités de carbone que doivent présenter les aciers, en vue de la fabrication d'un certain nombre d'objets.

L'acier renfermant, par exemple :

1 à 1,30 °/₀	de carbone	servira	pour burins.
0,90 à 1,30 °/₀	—	—	limes.
1,10 °/₀	—	—	outils de tour.
1 à 1,10 °/₀	—	—	forets de mines.
1 °/₀	—	—	rasoirs.
0,80 °/₀	—	—	scies.
0,60 à 0,80 °/₀	—	—	sabres.
0,60 à 0,70 °/₀	—	—	marteaux de mines.
0,60 °/₀	—	—	ressorts.
0,50 °/₀	—	—	baïonnettes.
0,30 à 0,50 °/₀	—	—	canons de fusils à forer.
0,10 à 0,30 °/₀	—	—	bandages, essieux.
0,10 à 0,30 °/₀	—	—	tôles.
0,10 à 0,30 °/₀	—	—	canons de fusil à souder.

Pour éviter toute méprise, au sujet de la proportion de carbone contenue dans l'acier, chaque coulée faite est soumise à une analyse ou plutôt à l'examen chimique très-facile, inventé par M. Eggertz, professeur à Falun, et que nous avons détaillé dans nos considérations sur la Suède. En sus de ces essais chimiques, un habile forgeron est encore chargé de faire des essais de forge et de trempe, pour s'assurer que la pratique est d'accord avec la théorie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Aspelin vend ses aciers Bessemer comme suit, livrés à bord dans un port de Suède.

En lingots : la tonne ou 1,000 kilos		350	francs.
Étiré : de	$55,8 \times 55,8^{m/m}$	600	»
—	$24,8 \times 24,8$ à $55,8 \times 55,8$	700	»
Acier pour outils.	$12,4 \times 12,4^{m/m}$ et au delà	950	»
—	Au-dessous de $12,4 \times 12,4^{m/m}$	1,150	»
La fonte pour faire du Bessemer		150	»

La force motrice est fournie à l'usine par la rivière Kohlböck ; il faut 90 chevaux effectifs pour les machines soufflantes et pour le fonctionnement des appareils Bessemer. 15 ouvriers suffisent pour faire 5 coulées par jour et produire 8,000 kilogrammes d'acier. On compte, en Angleterre, en France et en Allemagne, de 10 à 12 francs de main-d'œuvre par tonne de Bessemer, ce qui correspondrait à un salaire de 5 à 6 francs par jour. Mais comme la production des convertisseurs est moindre en Suède, la main-d'œuvre par tonne y revient plus cher : M. Aspelin paye 13 francs par tonne.

Les autres fabricants d'acier Bessemer suédois sont les suivants :

M. Lindberg, à Mora Carlsdahl, — *J. W. Sundblad*, à Mora Siljausfors, — *F. Lagergren*, à Hedemora-Kloster, — *G. Oestberg*, à Upsala (usine Sœderfors), — *A. Michaelsson*, à Stockholm (usine Dannemora), — *Société de Högbo* (Gesleborg), à Sandviken. Les cinq premières usines ont chacune deux convertisseurs, à peu près de la même contenance que ceux de M. Aspelin, mais on nous a dit qu'elles produisaient moins, et qu'il y en avait même dont la production ne s'élevait pas à 100 tonnes par an. L'usine *Sandviken*, au contraire, a été construite à neuf et en vue de la fabrication des aciers Bessemer. Elle renferme un haut fourneau (le plus grand de la Suède) pouvant produire 120 tonnes par semaine ou 6,000 tonnes par an. On y a construit de puissants laminoirs et un outillage complet et considérable, pour transformer les aciers en tôle de toutes les dimensions désirables.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les 2 convertisseurs qu'on y avait établis contenaient 5 tonnes chacun et étaient rotatifs. Malheureusement la Société de Högbo a fait des efforts au-dessus de ses forces; elle a été obligée de déposer son bilan et l'usine de Sandviken a été récemment vendue à vil prix. Mais justement, en raison de ce bas prix, il est bien possible qu'avec une bonne administration, les successeurs parviennent à faire d'excellentes affaires, là où leurs prédécesseurs se sont ruinés.

L'usine de *Dannemora* a également établi 2 convertisseurs; mais sa principale production est et restera toujours celle de ses fers à acier, dont la réputation est universelle. Il n'est peut-être pas sans intérêt de répéter ici ce que M. Rinman en dit, dans sa brochure déjà citée.

« Les fers de Dannemora ont généralement un grain fin et « inégal, parce que les parties dures sont entremêlées avec « des parties tendres, comme on peut le voir dans les échan- « tillons exposés par l'usine Osterby (1). Cependant la duc-

(1) Il y a 7 usines dans la province d'Upsala et 2 dans la province de Stockholm qui produisent des fers avec les minerais de Dannemora.
Voici leurs noms, leurs marques, le bureau de poste et la quantité de fer qu'elles produisent par an.

Elfkarleo		Tierp.....	430	tonnes.	
Gimo		Upsala ...	280	—	
Leufsta		Tierp.....	700	—	1re qual.
Stromsberg		Tierp.....	450	—	
Södersfors		Tierp.....	850	—	
Wattholma		Upsala ...	255	—	
Osterby		Upsala ...	1,500	—	1re qual.
Forsmark		Tierp.....	520	—	
Skebo		Vörtelje .	880	—	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« tilité, la ténacité et la force de ce fer sont toujours supé-
« rieures à celles des autres fers. Une particularité remar-
« quable que présente ce fer, est de se comporter dans le feu
« comme le fer le plus doux et de devenir plein de nerf, même
« quand il a l'apparence la plus dure; et comme il est d'ail-
« leurs toujours converti en acier cémenté, qui est ensuite
« fondu, les inégalités disparaissent tout à fait dans le dernier
« produit. »

L'analyse des fontes de Dannemora est la suivante :

Truitée.	*Grise.*
4,04	1,04 carbone combiné.
0,46	3,05 graphite.
	0,02 phosphore.
0,03	0,02 soufre.
0,46	0,35 silicium.

M. Ulff, propriétaire de l'usine Wikmanshyttan, produit environ 100 tonnes d'acier, d'après le procédé Uchatius; cet acier, par sa force, sa ténacité et sa dureté est très-recherché pour la fabrication des étampes, matrices, pièces de machines, etc., etc., et nous croyons qu'il s'en vend dans tous les pays du continent.

M. W. Zethelius, à Surahammar, produit des aciers puddlés; mais nous ignorons si c'est à la houille, au bois ou au gaz qu'il les fabrique. Il paraît du reste qu'il est le seul qui ait adopté le puddlage pour l'acier.

CHAPITRE VIII.

FABRICATION DE LA RUSSIE.

La Russie, cet empire colossal, qui s'étend sur une longueur de plus de 15,400 kilomètres et sur une largeur de 5,200 kilomètres, qui couvre une superficie d'environ 20 millions 400,000 kilomètres carrés, et qui renferme plus de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

77 millions d'habitants, n'occupe pas encore au point de vue industriel un rang proportionné à son étendue et à sa population. Ce n'est pas que les pays qui composent ce vaste empire soient dénués de ressources naturelles; il faut en chercher la cause dans la civilisation encore trop arriérée, dans le défaut d'instruction de la grande majorité de la population, ainsi que dans l'absence d'institutions libérales, qui, jusqu'à l'époque la plus récente, a caractérisé désavantageusement l'organisation politique et administrative de la Russie.

De nos jours, une grande œuvre, qui aura les conséquences les plus bienfaisantes et qui réagira de la manière la plus favorable sur le développement du commerce et de l'industrie, a été accomplie par l'empereur actuel de toutes les Russies.

Le servage et on pourrait presque dire l'esclavage y ont été abolis. On peut donc prévoir que l'industrie, l'esprit d'entreprise, la confiance, la sécurité et tous les autres bienfaits d'une civilisation avancée, qui jusqu'ici n'avaient été l'apanage que de la noblesse et de la haute société, se répandront enfin graduellement et même assez rapidement dans les rangs inférieurs du peuple. Ils stimuleront l'activité et l'énergie individuelles; et il ne peut y avoir de doute que la race slave, douée peut-être de moins d'esprit d'initiative que la race latine, mais possédant par contre une facilité remarquable d'imitation et d'adoption, ne parvienne, dans un temps assez rapproché, à tirer un meilleur parti des énormes richesses naturelles, disséminées sur une multitude de points de l'empire russe. Si le territoire renferme beaucoup de contrées déshéritées, pauvres, rebelles à la culture, arides et désertes, il y en a par contre une foule d'autres qui sont d'une fertilité merveilleuse, admirablement propres à toute espèce de culture, ou possédant des richesses minières qui ne demandent que des conditions favorables pour être exploitées fructueusement.

Ce qui a jusqu'ici le plus fait défaut à la Russie, ce sont des voies de communication faciles, rapides et économiques. Cet empire forme une masse compacte dont le centre est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

excessivement éloigné des frontières et des mers qui constituent des débouchés naturels des produits indigènes. Du côté de l'Europe, ce sont la mer Baltique et la mer Noire; du côté de l'Asie, la mer Noire, la mer Caspienne et l'Océan Pacifique, qui ouvrent des communications avec les autres peuples. L'Océan glacial baigne bien les côtes septentrionales de la Russie sur une étendue de 12,000 à 13,000 kilomètres, mais, quoique de magnifiques fleuves s'y jettent, la rigueur du climat y est telle que cette vaste position maritime n'est presque d'aucune utilité pour le commerce et la navigation. Cependant, malgré l'immensité des distances et l'insuffisance des routes de terre, les produits du commerce et de l'industrie pourraient encore circuler assez facilement, grâce aux nombreux lacs, fleuves et rivières souvent d'une vaste étendue et d'un long parcours dont le territoire russe est richement doté; mais la navigation intérieure et fluviale est encore loin d'être organisée comme elle devrait l'être, et une canalisation soignée et étendue n'a pas encore, depuis si longtemps, fait disparaître les obstacles qui trop souvent s'opposent à la marche rapide et économique des produits.

L'abondance des forêts favorise, toutefois, la construction des navires et des barques, et l'usage de démolir ces dernières à leur arrivée pour les vendre, sous forme de bois de chauffage, rend ce genre de transport parfois assez avantageux.

Depuis quelques années, le gouvernement russe a compris la nécessité de faire participer son pays aux nombreux bienfaits que procurent les chemins de fer, et il a fait des efforts considérables pour leur établissement. Le sol généralement peu accidenté de la Russie est très-favorable sous ce rapport, et il faut espérer que les voies ferrées ne tarderont pas à s'étendre et à se multiplier. Au commencement de cette année, l'empire russe possédait 4,494 kilomètres de chemins de fer, dont 107 kilomètres en Finlande, 886 kilomètres en Pologne, et le reste dans la Russie d'Europe. Les principales lignes sont celles de Pétersbourg à Varsovie, 1,040 kilomètres; de Péters-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bourg à Moscou, 644 kilomètres; de Moscou à Nijni-Novgorod, 437 kilomètres; et de Moscou à Piasan-Korloff, 406 kilomètres. La longueur des fils télégraphiques est de 60,168 kilomètres. Malgré l'exiguïté de ces lignes comparativement à l'immense étendue de l'empire russe, leur influence bienfaisante sur le commerce et l'industrie de la Russie s'est déjà fait fortement sentir.

La Russie possède en abondance des mines de fer, surtout en Pologne, dans l'Oural et dans la Sibérie ; mais l'exploitation de la plupart d'entre elles est rendue très-difficile, sinon impossible, par suite de leur écartement des lieux habités ou de l'absence de voies de communication. C'est ainsi, par exemple, que le fer abonde dans l'Altaï et dans la Transbaïcalie; et partout où on l'y trouve, on rencontre ordinairement aussi la houille, surtout dans les bassins compris entre l'Altaï et le Tarbagataï et dans quelques parties de la steppe des Kirghiz. Mais que faire de ces richesses jusqu'à présent perdues au fin fond des déserts?

De nos jours la production du fer (à l'exception de quelques mines sibériennes appartenant à l'empereur de Russie) est exclusivement due à la Russie d'Europe. La chaîne de l'Oural (Perm et Orenbourg) fournit plus de 90 pour 100 de la production totale, qui s'est élevée dans ces dernières années à environ 2,830,000 quintaux. La Pologne produit en outre environ 750,000 quintaux. Cette quantité est évidemment insuffisante pour une population de 77 millions d'habitants; aussi y a-t-il importation de fer et surtout d'objets fabriqués en fer, fonte et acier, pour une valeur considérable.

Les fers russes sont excellents ; la plus grande partie est travaillée au bois ; on les recherche en Europe, notamment en Angleterre, et la Russie en exporte pour quelques centaines de mille roubles. Mais la bonté des fers russes, qui en fait les rivaux des fers suédois et qui les rend propres à tous les usages, les fait aussi ressortir à un prix très-élevé, qui les rend inaccessibles à la masse du peuple.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La principale cause de la cherté de ces fers est la concentration des mines à l'extrémité de l'Empire, à de très-grandes distances des principaux centres de consommation, et l'absence de combustible minéral là où se rencontreraient, sans cela, des conditions favorables d'exploitation. La majeure partie de la fonte, au moins les trois quarts, est transformée en fer forgé ou laminé, sur les lieux même de production ; il en est de même de la fabrication des gros objets en fonte ou en fer qui s'exécute également près des mines.

Parmi les forges de fer les plus importantes, il faut citer celles du prince *Demidoff*,

Les usines de Tonguil ont été fondées, il y a plus d'un siècle (en 1725), par un des aïeux du prince. La propriété est située sur les deux versants dé l'Oural ; plus des cinq sixièmes en sont couverts de forêts. La population ouvrière compte 54,000 âmes. A côté de nombreuses mines de cuivre, il s'y trouve des gisements ferreux, dont le principal est la montagne Vissokogora presque uniquement formée d'oxyde de fer magnétique. Ce minerai produit des fers d'une pureté à peu près égale à celle des meilleurs fers de Suède. Neuf usines et quatre ateliers d'élaboration (laminoirs, forges, aciéries) produisent en moyenne 1,560,000 pouds de fonte, qui donnent environ 1,022,000 pouds de fer fin (le poud russe équivaut à 16 kil. 380) livrés au commerce sous forme de barres rondes et carrées, tôles, fers pour bandages de roues, acier cémenté travaillé au marteau, acier pour ressorts, etc. Les usines de Tonguil sont montées, comme les usines bien outillées de l'Europe. On y trouve 7 hauts fourneaux, 5 cubilots, 38 feux comtois, 37 fours à puddler et 32 fours à souder.

L'usine d'*Artinsk* (gouvernement de Perm), renferme des forges et des aciéries ; ces dernières ont produit 6,138 pouds d'acier, employés en partie pour la fabrication de faulx

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

(18,000) pièces et de scies pour bois. On se sert de la fonte de l'usine Salkink pour la fabrication de l'acier et du fer. Mais la production principale est celle de 11,000 tonnes de fer d'affinerie (fers en barres et canons de fusils). Le nombre des ouvriers et manœuvres est de 360; la force motrice hydraulique de 300 chevaux environ.

L'usine de *Nynétourwisk* (gouvernement de Perm) renferme des forges, laminoirs et fonderie. On y travaille la fonte des usines Rouschwinsk et Verhkwétowdisk. La production est de 150 tonnes de moulage; 2,500 tonnes de fer d'affinerie et de tôles et 26 tonnes d'acier naturel; la force hydraulique est de 580 chevaux.

Paschkoff (N et S.). — Usines de Belorchw et de Tirliansk (gouvernement d'Orenbourg). Trois hauts fourneaux, forges et laminoirs; force hydraulique 407 chevaux. On travaille du minerai de fer magnétique rendant 60 pour 100. La production est de 3,340 tonnes de fonte, 2,100 tonnes de fer d'affinerie, 530 tonnes de fer marchand, 40 tonnes de clous et 75 tonnes d'acier cémenté. L'usine occupe 1,740 et, d'après d'autres renseignements, 1,200 ouvriers.

L'usine de *Votkinsk* (gouvernement Viatka), forges et aciéries, laminoirs et fonderie. On travaille la fonte du district de Zoroblagodat. La force motrice est de 1,170 chevaux, dont 970 hydrauliques et 200 vapeur. L'usine occupe 1,500 ouvriers environ. La production est de 715 tonnes de moulage, 450 tonnes de fer d'affinerie, 6,000 tonnes de fer puddlé, 150 tonnes d'acier naturel et 53 tonnes d'acier cémenté, outre une quantité variable d'acier Bessemer. On y fabrique des ancres et des chaînes, de la grosse tôle pour navires en fer.

Usine de *Zlatooust* (gouvernement de Perm). Cette usine est à la fois une aciérie et une fabrique d'armes. Elle utilise

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les fontes de Satkinsk, obtenues avec des hématites brunes et du fer spathique.

La production est de 500 tonnes d'acier fondu, de 47 pièces de canon, du poids total de 110 tonnes, et de 28,000 pièces d'armes blanches. On y fabrique également des essieux pour roues de wagons, des cercles pour roues de locomotives et des cylindres de laminoirs, le tout en acier fondu. La force motrice est de 646 chevaux, dont 411 hydrauliques et 235 vapeur.

Usine de Katav Ivanovsk, appartenant au prince Balosselky-Belezersky (gouvernement d'Oufa). Deux hauts fourneaux, forges, aciérie et laminoir. Le minerai est de l'hématite brune et du fer spathique d'un rendement de 56 pour 100. La force motrice est de 1,105 chevaux, dont 1,007 hydrauliques et 98 vapeur. Le nombre des ouvriers s'élève à 808; celui des manœuvres à 1,511; total 2,319. La production est de 6,250 tonnes de fer puddlé; 5,000 tonnes de fer d'affinerie et 600 tonnes d'acier cémenté; une partie considérable de ces fers est exporté en Angleterre. On y fabrique outre les fers et aciers en barres, des fers à cheval, des clous pour fers à cheval et des aciers pour ressorts.

CHAPITRE IX.

FABRICATION DE L'ITALIE.

On ne peut se dissimuler que les conditions dans lesquelles se trouve l'Italie depuis quelques années, ne sont pas précisément des plus favorables pour le développement normal de son activité commerciale et industrielle.

Elle est encore en proie à des secousses politiques fréquentes et violentes; l'esprit public y est agité et excité, les finances sont loin d'être dans un état prospère; l'instruction, surtout l'instruction pratique, laisse encore beaucoup à désirer;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'unité nationale, but des désirs ardent de la partie la plus éclairée et la plus intelligente de la population, n'est point encore entièrement constituée ; et il résulte de toutes ces causes un état d'incertitude et de malaise qui effraie le capital, entrave le commerce et met l'industrie dans une situation très-difficile.

Il faut cependant rendre au gouvernement italien cette justice, qu'il fait ce qu'il peut pour améliorer une situation que la force des choses lui a imposée.

L'instruction publique est l'objet de sa plus vive sollicitude ; il a réorganisé récemment les universités, pour relever le niveau des études littéraires et scientifiques et créé de nombreuses écoles techniques ; il a provoqué la fondation des chambres de commerce, qu'on a encouragées, en leur laissant une large sphère d'activité et en mettant à leur disposition les moyens de concourir à l'amélioration économique du pays ; les voies de transport ont été multipliées et perfectionnées : tandis que l'Italie ne comptait, en 1859, que 1,472 kilomètres de chemins de fer, elle en possédait, en 1866, 4,840 kilomètres en activité, et 1,239 kilomètres en construction.

Le percement du mont Cenis constitue un des travaux les plus gigantesques qui aient été jamais entrepris.

La longueur des lignes télégraphiques italiennes est de 15,513 kilomètres, non compris 6,076 kilomètres appartenant aux Compagnies de chemins de fer. L'Italie, pour qui sa position avancée dans la Méditerranée et la longueur extraordinaire de ses côtes sont des conditions si favorables aux entreprises commerciales, qui possède des richesses naturelles d'une si grande valeur, dont les habitants ont à un très-haut degré le sentiment de l'art et, au moyen âge, occupaient un des premiers rangs parmi les nations, au point de vue du commerce, de l'industrie, de la littérature, des sciences et des arts, pourra certainement recouvrer une partie de ses anciennes richesses et de sa splendeur, lorsqu'elle aura accompli sa transformation, consolidé ses institutions libérales et retrouvé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le calme, la tranquillité et la sécurité. Il est cependant permis de douter qu'une des industries les plus importantes, l'industrie métallurgique puisse y acquérir un grand développement et atteindre un degré supérieur de prospérité.

Les gîtes métallifères à la vérité ne manquent nullement, mais l'Italie ne possède point ces riches dépôts de houille, qui sont la base de la puissance industrielle des autres pays. En fait de combustible (fossile), elle en est réduite à l'anthracite (trouvée surtout dans la vallée d'Aoste) aux lignites et à la tourbe. Encore l'anthracite est-elle trop sulfureuse pour pouvoir être employée à la métallurgie du fer. Le Piémont, la Toscane et surtout l'île de Sardaigne renferment encore d'assez belles forêts ; dans les deux premiers pays on en fait surtout du charbon, tandis que les forêts de la Sardaigne fournissent en outre des bois de construction.

On exporte des deux pour une valeur assez considérable.

L'Italie possède des gisements de minerai de fer assez abondants. Les plus importants sont : Le fer oxydé de l'île d'Elbe, d'une qualité excellente et si abondante que, après 2,000 ans d'exploitation, les mines présentent toujours le même aspect et peuvent fournir le même produit annuel pendant une longue série de siècles. Un minerai analogue est exploité depuis peu en Sardaigne. Les gîtes ferrugineux de la vallée d'Aoste sont également abondants, mais ne peuvent desservir que l'industrie locale. Le minerai de fer hydroxydé se rencontre dans la Valteline et dans la basse Italie. L'extraction du minerai de fer s'élève annuellement en Italie à environ 143,500 tonnes, dont près de 100,000 tonnes proviennent du district de Florence, qui comprend l'île d'Elbe.

L'industrie du fer, par la raison citée, ne peut être très-importante en Italie, On compte 17 hauts fourneaux et la production de la fonte n'excède pas 17,000 tonnes. Les usines pour l'affinage de la fonte et pour la fabrication du fer forgé ont presque entièrement disparu, par suite de l'importation des fers étrangers, qui a été facilitée par une forte diminution des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

droits de douane, et par le bas prix des transports de la navigation maritime et des chemins de fer. La fonte qui provient de minerais de fer carbonaté manganésifère, si distinguée par sa ténacité, est employée à la fabrication de canons et de boulets. Les projectiles de la fabrique Glisenti ont la réputation d'être de bonne qualité. Pour pouvoir lutter contre la concurrence étrangère, les maîtres de forge ont substitué aux anciennes forges, des fourneaux à réverbère chauffés par le bois, le charbon, la tourbe ou les lignites. On y fabrique surtout les fers spéciaux.

M. Grégorin de Lovere vient d'appliquer le système Siemens à ses fours à réverbère chauffés au gaz de tourbe, pour la fabrication de l'acier et pour le rechauffage du fer brut. Dans la forge royale de *Pisogne* on fabrique de l'acier au creuset par un mélange de fer pur et de belles fontes miroitantes manganésifères. Enfin la maison Ponsard, à Piombino, a adopté le procédé et les appareils Bessemer. La maison Glisenti de Brescia possède, à Corcina, une belle manufacture d'armes et y a établi une fabrique de limes. La coutellerie s'exerce à Milan, Brescia, Florence, Campobasso, etc. Mais le centre de production sidérurgique le plus important est à Lecco, où l'on fait la plupart des instruments à l'usage de l'agriculture, de la vie domestique et de l'industrie. Des fonderies pour objets en fonte moulée existent dans presque toutes les villes importantes. Elles mélangent généralement les fontes grises peu carburées de la Lombardie avec les fontes graphiteuses anglaises.

L'Italie produit dans 259 usines, dont bien peu d'une certaine importance :

268,067	quint. métr.	de fonte de 1re fusion.
119,015	—	— 2e —
144,321	—	de fer en barres.
25,226	—	— ouvré.
13,420	—	d'acier brut et ouvré.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La fonte de première fusion se produit surtout dans les districts de Milan et de Florence ; celle de deuxième fusion dans ceux de Gênes et Milan, les fers en barres dans le Milanais, dans le Piémont et en Toscane ; le fer ouvré dans le Milanais.

La valeur totale de la production sidérurgique peut être évaluée à 16,444,000 francs. La faible importation de cette production explique l'importation des métaux étrangers, qui est assez considérable. Cette importation est 1,056,973 quintaux métriques d'une valeur de 42,321,000 francs.

Elle se décompose en :

	Quint. métr.	Valeur
Fonte en masse	179,228	2,283,000
Fonte en coussinets pour chemins de fer	13,246	392,000
Fonte ouvrée	52,973	3 163,000
Fer de 1re fabrication (Rails en fer)	243/283	7,793,000
Fer en barres	422,283	17.207,000
Fer de 2e fabrication, simple	72,753	5,479,000
— laminé	27,928	1,244,000
Tôle en feuilles	29,229	2,338,000
Tôle ouvrée	2,322	383,000
Acier en barres	17,931	1,649,000
Acier ouvré	1,720	372,000

C'est l'Angleterre qui importe le plus : 32,019 tonnes de fer en barres (13 millions de francs), 18,000 tonnes de rails, 665 tonnes d'acier. La France exporte pour l'Italie 3,500 tonnes de fer et 330 tonnes d'acier. L'Autriche importe 2,800 tonnes de fer et 414 tonnes d'acier.

CHAPITRE X.

FABRICATION DE L'ESPAGNE.

L'Espagne, par sa position géographique, par l'étendue de ses côtes maritimes, par l'excellence de ses nombreux ports, par les richesses naturelles, tant minérales que végétales qu'elle renferme, possède les éléments d'une activité commerciale et industrielle des plus considérables. Mais, à peu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'exceptions près, ces éléments n'ont encore pu se développer que très-imparfaitement, et ce n'est que depuis quelques années que les conditions d'un pareil développement sont devenues plus favorables. Le peuple espagnol, sobre, tenace et endurant, est généralement encore trop peu instruit et trop apathique. Son peu de goût pour le travail est peut-être un peu la conséquence de son extrême sobriété. Ayant peu de besoins, l'Espagnol est moins stimulé et sent moins la nécessité du travail agricole, commercial et industriel. Les circonstances politiques et les embarras financiers ont encore dû augmenter les difficultés qu'y rencontrent le commerce et l'industrie. Cependant la création des voies ferrées qui traversent maintenant l'Espagne dans plusieurs directions et qui ont mis le centre en relation plus directe avec les ports principaux et avec la France, a déjà beaucoup contribué à faciliter l'échange des produits et à relever le commerce d'exportation et d'importation.

L'Espagne commence à sortir de son isolement; les capitaux étrangers, à défaut des indigènes, se présentent plus volontiers et en plus grande abondance pour l'exploitation de ses richesses naturelles, et un bel avenir est réservé à ce pays, lorsque l'instruction pratique et libérale s'y sera répandue davantage dans tous les rangs de la population.

Depuis l'antiquité la plus reculée, les mines espagnoles ont joui, et avec raison, d'une grande renommée. Le pays est très-riche en excellents minerais de fer, de plomb, de mercure, de cuivre et en renferme même d'or et d'argent. Mais l'exploitation de ces deux derniers métaux, si importante et si célèbre sous la domination romaine, a presque cessé de nos jours. Par contre, l'industrie sidérurgique y prend un nouvel essor. Elle est cependant un peu entravée par suite du manque ou plutôt de l'insuffisance du combustible minéral indigène. L'Espagne possède, à la vérité, des mines de houille principalement dans les Asturies, mais leur exploitation est encore trop restreinte et trop incomplète, et l'on est obligé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'importer une grande partie de la houille et du coke de l'Angleterre.

Les hauts fourneaux, alimentés par d'excellents minerais et marchant presque tous au charbon de bois produisent des fontes pures, avec lesquelles on fabrique d'excellents fers. La fabrication de l'acier est encore comparativement peu considérable en Espagne, et celui dont elle a besoin lui arrive en majeure partie par importation, soit de France, soit d'Angleterre ou d'Allemagne. Nous avons du reste peu de données sur l'industrie sidérurgique espagnole. Celles que nous possédons et qui s'appliquent, pour la plupart, à la fabrication de la fonte et du fer nous ont été fournies avec l'empressement le plus bienveillant et le plus obligeant par S. Exc. M. le général Elorza, qui a lui-même tant contribué à relever l'industrie métallurgique en Espagne.

Nous accomplissons un devoir des plus agréables en lui en témoignant ici notre sincère et profonde reconnaissance. Nous extrayons de ses renseignements ceux qui concernent les deux usines du Pédroso et de Trubia.

La fabrique de fers et d'aciers du Pedroso, appartenant à la compagnie des mines du même nom, est située à 70 kilomètres du grand môle de Séville. C'est à la direction et aux conseils du général Elorza que cet établissement est redevable de l'impulsion qui a assuré son développement. L'usine se compose de trois hauts fourneaux au charbon de bois, avec ateliers de moulage, fours à puddler, à réchauffer, d'affinage et laminoirs. Elle occupe 300 ouvriers, dont l'éducation morale et industrielle est l'objet de l'incessante sollicitude de l'administration. La force motrice est normalement de 200 chevaux hydrauliques; il y a une machine à vapeur, pour les temps de sécheresse.

Les minerais traités sont les oxydes de fer magnétiques et les hématites.

Deux hauts fourneaux constamment en activité consomment 65 à 70,000 quintaux métriques de minerai, 55,000 quintaux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de charbon de bois, et produisent environ 34,000 quintaux métriques de fonte, dont : 10 pour 100 servent pour fonte de deuxième fusion; 30 pour 100 pour fers puddlés laminés, applicables aux instruments agricoles; 40 pour 100 pour fers en barres laminés; 10 pour 100 pour fers de futaillerie; et enfin 10 pour 100 pour petits fers martelés de ferronnerie.

Les fers sont de qualité irréprochable et comparables aux fers russes et suédois.

L'usine du Pédroso est la première en Espagne qui ait adopté les fours régénérateurs de Siemens, et l'on est à la veille d'y introduire les appareils Bessemer.

La grande *usine de Trubia*, appartenant au gouvernement espagnol, est sous la direction du corps d'artillerie; elle doit également son importance actuelle à l'activité et à la science profonde de S. Exc. le général Elorza. La fabrique renferme deux hauts fourneaux au coke, pouvant produire 7,000 kilogrammes de fonte par coulée. Leur marche a été arrêtée pendant ces derniers temps, parce que d'autres hauts fourneaux, appartenant à l'industrie privée, ont été établis dans le voisinage et dans des conditions économiques plus avantageuses. La consommation de Trubia en fonte s'élève à 4,000 tonnes par an.

Cette fonte, soumise à la refonte, sert à fabriquer toute sorte de pièces de machines et d'ornements, des tuyaux de conduite d'eau, de vapeur et de gaz, et tous les objets de moulage concernant le matériel de l'artillerie. En effet, l'usine de Trubia est une grande fonderie de canons, munie d'ateliers de forage et de finissage. Une autre partie de la fonte est affinée et convertie en fer d'excellente qualité.

L'établissement renferme aussi une aciérie. Les barres de fer, cémentées dans deux fours de cémentation, sont converties en acier fondu dans 24 fours formant deux séries. Les 24 fours renferment en tout 76 creusets, qui produisent 2,880 kilogrammes d'acier fondu par coulée. L'acier est em-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ployé à la fabrication de baïonnettes, de projectiles, ou bien est étiré et laminé en barres. A l'aciérie est adjointe une fabrique de limes, produisant 50,000 limes de toute espèce.

On peut dire que toute l'installation de la fabrique de Trubia est des mieux agencées et que l'on y a introduit tous les perfectionnements sanctionnés par la pratique et par la science. C'est à cet excellent matériel, joint à son habile et savante direction, que l'établissement de Trubia doit la supériorité bien reconnue de tous ses produits. Trubia occupe environ 1,000 ouvriers logeant, avec leurs familles, dans une belle cité ouvrière, composée de plus de 300 maisons aussi confortables qu'élégantes et comprenant, en outre, des écoles, des lavoirs, des bains à eau chaude et froide, une halle de marché, des salles de lecture, un hôpital et même une salle de spectacle. Rien n'a été épargné pour assurer le bien-être à la fois matériel, intellectuel et moral de la population ouvrière.

CHAPITRE XI.

FABRICATION DES ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

Si l'on veut se faire une idée de l'importance de l'industrie métallurgique des États-Unis, ou plutôt de ce que sera cette industrie dans quelques années, on n'a qu'à considérer ce qu'étaient les États-Unis il y a cinquante ans, et ce qu'ils sont devenus aujourd'hui.

Jamais, depuis que le monde existe, l'on n'a été témoin d'un développement aussi prodigieux, d'un accroissement aussi inouï en population, en territoire, en ressources et en richesses. On y trouve réunis tous les éléments de puissance et de prospérité. Un peuple doué d'une activité et d'une énergie incomparables, avec des institutions tellement libérales que, tout en maintenant l'ordre et la sécurité, elles ne mettent pas le moindre obstacle à l'épanouissement, à la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mise en action de toutes les forces individuelles et, au contraire, les stimulent jusqu'à l'extrême limite ; un sol doué d'une fécondité inépuisable ; des forêts, des bassins houillers, des gîtes métallifères d'une étendue et d'une richesse extraordinaires; avec cela des voies de communication par chemins de fer, par canaux et par rivières, comme aucun pays, sans en excepter même l'Angleterre, ne peut en présenter de pareilles.

Tel est ce peuple et ce pays qui vient de sortir victorieux d'une guerre civile, on pourrait presque dire d'une guerre sociale, des plus épouvantables, qui a pu dépenser pour la soutenir, en quelques années, plus de 15 milliards, et qui supporte allègrement une dette dont le fardeau écraserait infailliblement la plupart des peuples de l'ancien continent.

Il ne peut donc y avoir le moindre doute que, dans un avenir extrêmement rapproché, les États-Unis, qui ont été si longtemps tributaires de l'Angleterre pour la houille et pour tous les objets appartenant à l'industrie des fers et aciers, ne se suffisent complétement sous ce rapport, et même, de consommateurs et importateurs ne se transforment en producteurs et exportateurs.

On sait aujourd'hui que les États-Unis possèdent, en fait de houilles, des bassins parfaitement exploitables, présentant une étendue qui excède plus de trente fois celle de tous les bassins houillers réunis de l'Angleterre. Grâce à leurs immenses forêts, les Américains auront encore, pendant de longues années, des bois en abondance et du charbon de bois à des prix très-modérés. L'examen géologique des différents États constituant la grande République (Geological Survey) a révélé qu'on y trouvait en abondance les minerais de fer de toute espèce, et, entre autres, le fer oligiste, l'oxyde de fer magnétique, le fer spathique, d'une pureté semblable à celle des minerais du même genre que possède la Suède. Les canaux et les chemins de fer mettent le minerai et le combustible, pour ainsi dire, l'un à côté de l'autre. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce qu'on voie construire, chaque année, un nombre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

considérable de forges, de hauts fourneaux, etc., etc., usines parfaitement outillées et munies des engins mécaniques les plus perfectionnés. Sous ce rapport, les États-Unis n'ont guère à apprendre de l'Europe ; bien au contraire, nous trouverions plutôt à nous instruire auprès d'eux.

Pour ne point être taxé d'exagération, quant au pronostic commercial et industriel que nous venons de tirer pour les États-Unis d'Amérique, citons quelques faits et quelques chiffres. Ils sont plus éloquents que toutes les paroles possibles.

La population, qui en 1790 n'était que de 5,300,000 habitants, s'est élevée, en 1860, à 31,450,000 habitants. Elle a donc sextuplé en 70 ans. En 1865, elle était (malgré la guerre) de 35,500,000 habitants. On y compte 970,000 manœuvres et ouvriers, 148,000 mineurs, 44,000 machinistes, 20,000 tailleurs de pierres et marbriers, 11,200 négociants en gros, 124,000 marchands en détail, 27,400 ingénieurs civils et mécaniciens, 87,300 employés dans les fabriques, 36,600 employés dans les chemins de fer. En 1860, le nombre des hommes surpassait celui des femmes d'environ 730,000. Cette disproportion des sexes provient de ce que l'émigration amène aux États-Unis surtout des hommes dans la force de l'âge. L'étendue du territoire des États-Unis était, en 1865, de 2 millions de kilomètres carrés, dépassant plus de deux fois celle de l'ancien empire romain, à l'apogée de sa puissance. La valeur totale des propriétés mobilières et immobilières doit y excéder, en ce moment, 100 milliards de francs. En 1860, on a pu évaluer la valeur totale des produits de l'industrie américaine à environ 10 milliards de francs, dont: 496 millions pour les bois ; 243 millions pour machines à vapeur et machines; 147 millions pour fonderies de fer ; 115 millions pour fers en barres et laminés ; 101 millions pour fonte brute ; 92 millions pour instruments agricoles.

Quant aux mines, nous ne mentionnerons qu'en passant les mines d'or de la Californie, du Colorado, du Nouveau-Mexique, de l'Orégon, etc., etc., qui ont produit, en 1860,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

517 millions de francs ; les seules mines d'argent de la Nevada ont fourni 82,200,000 francs d'argent, et les mines de mercure de la Californie, dont l'exploitation vient seulement de commencer, versent chaque année dans le commerce 1,850,000 kilogrammes de mercure. Les mines de fer des États-Unis ont produit, en 1860, 2,514,300 tonnes. Ces mines, ainsi que celles de houille, se trouvent presque dans tous les États et territoires de l'Union. On a extrait, en 1860, 5,775,077 tonnes de houille grasse et 10 millions de tonnes d'anthracite, représentant ensemble une valeur de 100 millions de francs. Les mines de houille présentent une surface de 322,000 kilomètres carrés, c'est-à-dire environ 12 fois celle de toutes les houillères d'Europe réunies. Le principal gisement d'anthracite se trouve dans l'État de Pensylvanie. On connaît l'importance des sources de pétrole des États-Unis, sources si abondantes qu'elles ont produit une révolution dans le mode d'éclairage des ménages, même sur l'ancien continent, en substituant, dans bien des cas, l'usage des huiles minérales à celui des huiles grasses.

En 1860, la longueur des canaux et des canalisations dépassait déjà 8,300 kilomètres ; celle des chemins de fer, 49,500 kilomètres, et celle des voies navigables (canaux, rivières et lacs), 80,000 kilomètres. En 1865, la longueur totale des lignes télégraphiques de l'Union s'élevait à 88,500 kilomètres.

Pendant la guerre civile, les armées des fédéraux et des confédérés réunies comptaient 4 millions de soldats, la force la plus formidable qui ait jamais été mise sur pied en aucun pays et à aucune époque. En 1864, la marine de guerre de l'Union comptait 671 vaisseaux, portant 4,610 canons et un personnel de 51,082 hommes, dont 6,000 officiers. Quant à la marine marchande, le tonnage des navires, tant enregistrés que nolisés, des États-Unis, en 1860, représentait un tonnage de 5,354,000 tonnes.

Le réseau de la navigation à vapeur fluviale du seul bassin du Mississipi présente une étendue de plus de 25,000 kilomètres, sillonnée par plus de 1,200 bateaux à vapeur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Devant de pareils chiffres, tout commentaire est superflu.

M. Beckwith, commissaire des États-Unis, et M. d'Aligny, membre du jury, ont eu l'obligeance de nous communiquer plusieurs documents statistiques, dont nous nous empressons de faire encore les extraits suivants :

La production de la fonte brute (*pigiron*), était :

En 1810	54,000	tonnes.
— 1828	130,000	—
— 1840	347,000	—
— 1845	486,000	—
— 1850	600,000	—
— 1860	884,000	—
— 1864	1,200,000	—

La production de la fonte, en 1864, se répartissait de la manière suivante :

Massachusetts	2,000	tonnes.
New-York	120,000	—
New-Jersey	29,378	—
Pensylvanie	521,591	—
Maryland	10,037	—
Cette fonte a été produite avec l'anthracite	684,319	—
La fonte produite au coke s'élevait à	210,000	—
— au charbon de bois	255,000	—
Estimation de la fonte au charbon de bois dans les États du Sud	50,000	—
	1,200,000	—
La production des fontes brutes s'est élevée en France en 1864 à	1,217,000	—
La production de l'acier s'est élevée en 1864 aux États-Unis à	18,000	—
En France à	30,000	—
— Prusse à	50,000	—
— Autriche à	15,000	—

Un tableau statistique assez curieux est celui qu'on va voir à la page suivante. Il indique la production des fers et aciers bruts et ouvrés, sur laquelle a été perçu l'impôt que le gouvernement des États-Unis a établi sur l'industrie pour éteindre sa dette.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DÉNOMINATION.	TONNES.	TAXE perçue en dollars.	TAXE par tonne en dollars.
Fers neufs laminés pour chemins de fer.	117,225	175,838	1.50
— relaminés —	158,967	119,225	» 75
Tôles et feuillards, au-dessus du nº 18 de la jauge du fil de fer.....	77,670	116,596	1.50
Feuillards et tôles au-dessous du nº 18 de la jauge du fil de fer.....	19,136	39,472	2 »
Plaques de fer de 1/8e de pouce d'épaisseur et au-dessus.....	52,991	70,487	1.50
Plaques de fer ayant moins de 1/8e de pouce d'épaisseur.....	3,524	7,048	2 »
Fers en massiaux, en lopins non étirés, en barres.....	197,297	268,945	1.50
Fontes pour ponts et constructions....	33,483	33,483	1 »
— autres pesant plus de 10 livres.	139,502	209,253	1.50
Clous fabriqués à la mécanique et autres.....	92,250	184,500	2 »
Rivets, boulons, écroux, coussinets, etc.	17,389	34,778	2 »
Objets fabriqués en fer, pour lesquels un impôt a été payé.....	17,902	8,951	» 50
Autres objets en fer, pour lesquels un impôt de dol. 1.50 a été payé.....	21,973	10,986	» 50
Fontes de fer coulées en creux	15,544	23,316	1.50
Objets fabriqués divers, d'une valeur de dol. 63,025,330.....	»	1,891,016	3 pour 100 de la valeur.
Objets pour la marine, d'une valeur de dol. 2,181,140.....	»	65,434	3 pour 100 de la valeur.
Vis à bois.....	2,098	62,963	1 ½ pour 100 par livre..
Fourneaux.....	66,781	109,171	1.50
Aciers en lingots, barres, tôles et fils, d'une valeur de 7 cts par livre, au-dessus d'un quart de pouce d'épaisseur.....	1,345	5,380	4 »
Aciers de 7 cts à 11 cts par livre.....	4,395	35,162	8 »
— d'une valeur de 11 cents 9,979...	5,122	51,225	10 »
Objets en acier, non spécifiés.....	»	299,337	3 pour 100 de la valeur.
TOTAL.....	»	3,822,546d	

ou près de 20 millions de francs.

Cet énorme impôt nous explique l'augmentation considérable qu'ont subi les droits de douane sur les marchandises et produits étrangers à leur entrée aux États-Unis.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a aux États-Unis 37 usines pour la fabrication de l'acier fondu, l'acier cémenté et l'acier corroyé (*shearsteel*).

14	de ces usines sont établies en	Pensylvanie.
9	dans l'État de	New-York.
5	—	New-Jersey.
5	—	Massachusett.
2	—	Connecticut.
1	—	Illinois.
1	—	Michigan.

Une de ces usines, *Montaux Iron and Steel C°*, à Mott Haven (New-York), produit l'acier fondu directement du minerai.

Celle de *Trenton Iron C°*, à Trenton (New-York), est la seule qui fasse de l'acier puddlé.

L'usine de *Winslow Griswold and Holley,* à Troy (New-York), emploie le procédé Bessemer.

La *Pneumatic Steel C°*, à Wyandotte (Michigan), fabrique de l'acier pneumatique, c'est-à-dire d'après un procédé inventé par M. Kelly et amélioré par M. Josuah Weath, qui a de l'analogie avec le procédé Bessemer, au point que le *Patent Office* a décidé que M. Kelly, d'Eddyville (Kentucky), était le premier inventeur et lui a accordé une patente datée du 20 janvier 1857, tandis que le brevet de M. Bessemer pour les États-Unis date du 11 novembre 1856. C'est probablement à ce conflit qu'il faut attribuer ce fait que dans les États-Unis il n'y a jusqu'à présent que l'usine de Troy (New-York), qui ait acheté une licence de M. Bessemer ; et tant que la priorité de l'un ou de l'autre de ces deux brevets ne sera pas judiciairement établie, cette incertitude ne peut manquer d'entraver la propagation de l'un comme de l'autre de ces deux modes de fabrication.

Des 37 fabricants d'acier indiqués plus haut, il n'y en a eu qu'un seul, MM. Park frères et C°, de Pittsburg (Pensylvanie) qui ait envoyé des spécimens de sa fabrication à l'Exposition de Paris. Le grain des barres d'acier fondu exposées par eux avait l'apparence d'une excellente qualité, c'est-à-dire joignant le nerf à la dureté.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE XII.

CONCLUSION.

Le résumé statistique que nous venons de donner sur les États-Unis nous paraît démontrer qu'on y rencontre, dans des proportions plus considérables que partout ailleurs, tous les éléments qui constituent la richesse, la prospérité et la puissance d'une nation.

On peut prévoir que, dans un demi-siècle peut-être, la population des États-Unis aura tellement augmenté et les productions agricoles et industrielles s'y seront développées à un tel point, que les Américains du Nord se trouveront à la tête de tous les autres peuples et deviendront, pour ainsi dire, les arbitres du monde.

Devons-nous craindre qu'ils n'abusent alors de leur force? Nous ne le pensons pas. Les temps ne sont plus où une nation pouvait asseoir sa puissance et sa prospérité sur l'abaissement et le malheur de son voisin. La solidarité des peuples est déjà de nos jours un fait accompli et dont l'influence est des plus considérables; avec le progrès de la civilisation, cette influence va grandissant, et dans cinquante ans, c'est cette solidarité qui constituera la base des relations internationales.

Car, heureusement pour la dignité et l'indépendance des faibles, la Providence a créé l'homme avec l'instinct de la sociabilité et avec une multitude de besoins, dont la satisfaction l'oblige à avoir recours à ses semblables. Ce qui est vrai pour l'individu l'est aussi pour les nations : elles ne peuvent vivre isolées; elles ont besoin les unes des autres, et cela d'autant plus qu'elles occupent une position plus haute sur l'échelle des peuples civilisés.

Dans les premiers temps historiques, nous voyons les peuples se borner à la production des objets indispensables à leur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

subsistance ; la satisfaction de ce besoin principal étant assurée, on les voit se livrer également à la culture de produits d'agrément et de confort. C'est ainsi qu'on est successivement arrivé à cultiver la vigne, le houblon, le thé, le café, les épices, le tabac, etc., à utiliser les substances minérales pour les transformer en instruments de travail ou en objets de luxe; en un mot, à associer la production industrielle à la production agricole.

Les peuples qui, par suite de leur situation climatologique ou géologique, se trouvaient dans l'impossibilité de cultiver certaines denrées alimentaires ou de fabriquer certains produits industriels, avaient intérêt à se les procurer auprès des peuples plus favorisés sous ce rapport, en échange d'autres produits alimentaires ou manufacturés.

Comme conséquence de cet état de choses, il a dû arriver, suivant les circonstances, les aptitudes spéciales et le degré d'instruction d'un peuple, que certains genres de production se sont développés de préférence à d'autres; et il en est résulté qu'il y a aujourd'hui des pays où l'on pourrait parfaitement cultiver toutes les denrées alimentaires nécessaires à la subsistance des habitants, et où ceux-ci trouvent cependant plus avantageux de s'adonner principalement à la fabrication d'objets industriels et manufacturiers, pour les échanger dans d'autres pays plus exclusivement agricoles, contre des substances alimentaires.

C'est pour cette cause que la France, dont une grande partie du territoire est plantée en vignes, houblons, tabac, colza, betteraves, etc., éprouve en ce moment un déficit en céréales, et que le pain y est devenu cher. Mais cette cherté serait bien plus marquée si par bonheur la Hongrie n'avait récolté des blés en abondance, et si, grâce aux chemins de fer et à la navigation à vapeur, elle ne pouvait nous fournir, à peu de frais et dans un temps très-court, assez de blés pour maintenir le prix du pain à un taux relativement modéré et abordable aux pauvres. Cette année c'est la Hon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grie, une autre fois ce seront la Russie, la Prusse, la Pologne, l'Égypte ou l'Amérique, qui suppléeront à l'insuffisance de nos récoltes; et c'est ainsi que par suite du développement et du perfectionnement des voies de communication, les affreuses famines qui, au moyen âge, désolaient périodiquement l'Europe, et qui aujourd'hui encore font périr des centaines de mille hommes en Asie, ont pu être définitivement conjurées et rendues impossibles.

A mesure que nous progressons, les divers peuples deviennent donc, sous des rapports de plus en plus multiples, dépendants et solidaires les uns des autres.

Mais plus une nation aura besoin des nations étrangères, plus elle tâchera de vivre en paix avec elles, et veillera à ce que rien ne vienne troubler leurs bonnes relations. Pour pouvoir trouver des ressources auprès d'un autre peuple, il faut que celui-ci soit prospère; et c'est ainsi que la prospérité d'un pays est nécessaire et avantageuse aux autres pays, et que ce qui porte préjudice à l'un ne peut manquer, par contre-coup, de faire du tort aux autres. Si cette année la Hongrie, en nous vendant ses blés plus cher qu'à l'ordinaire, réalise des bénéfices insolites, nous ne devons pas en être jaloux; car non-seulement elle nous sauve de la famine, mais ses bénéfices actuels lui servent à augmenter son bien-être par l'acquisition d'objets de confort et de luxe, dont une bonne partie seront fournis par les nations mêmes auxquelles la Hongrie aura vendu son excédant de céréales.

Il nous semble donc évident que, plus nous progresserons en civilisation, plus aussi les peuples comprendront que c'est l'état de paix qui devrait prédominer et régner dans le monde; car c'est la paix seule qui crée et produit, en développant l'instruction, la science et ses applications, la richesse et le bien-être. La guerre, au contraire, détruit, abrutit, appauvrit, et traîne après elle des fléaux sans nombre.

Si ce que nous disons est vrai, et cela nous paraît indiscutable, que devient alors cette théorie surannée d'équilibre ou de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prédominance politique? Aujourd'hui, avec ce besoin qui se fait de plus en plus sentir de communications aussi faciles et rapides que multipliées et économiques, les petits États doivent comprendre la nécessité de s'unir aux grandes nations, afin de profiter de tous les avantages que celles-ci peuvent plus aisément se procurer sous ce rapport. Le sentiment de leur sécurité doit encore les y pousser. Il en est de même des petits États essentiellement commerçants. La Hollande, le Danemark comptaient jadis parmi les puissances maritimes; mais aujourd'hui qu'un vaisseau de guerre coûte 6, 8 et 10 millions de francs, il est bien évident que ces petits pays sont matériellement impuissants à créer et à entretenir une flotte de guerre. Ils s'allieront nécessairement à l'une ou l'autre des grandes puissances limitrophes.

Loin donc de vouloir contrarier l'unification des peuples, il nous semble qu'il vaut mieux la favoriser. Cette unification ne peut que simplifier et faciliter les relations internationales et consolider l'alliance des peuples, car l'entente et l'union sont plus faciles à établir entre neuf ou dix puissances qu'entre cent, et c'est probablement là le moyen le plus certain d'arriver à une paix générale et solide. Aussi avons-nous la conviction profonde, qui est certainement partagée par l'immense majorité de nos concitoyens, que les peuples de l'Europe ne pourraient rien faire de mieux que de vivre en harmonie parfaite les uns avec les autres. Au lieu d'entretenir à très-grands frais d'énormes armées permanentes, qui épuisent le pays et paralysent la force productive de la partie la plus saine et la plus vigoureuse de la population; au lieu de dépenser des milliards en préparatifs de guerre ou même en guerres désastreuses et fratricides, comme cela a eu lieu jusqu'ici, on devrait procéder à un désarmement général, et employer les immenses ressources qui par là deviendraient disponibles à développer l'instruction publique, à améliorer la position des classes inférieures, à multiplier les voies de communication, à replanter les forêts, endiguer les rivières, dessécher les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

marais, encourager l'irrigation et le drainage, assainir les localités et les habitations insalubres, etc., etc.; en un mot organiser, perfectionner tout ce qui peut contribuer à augmenter le bien-être matériel et à faire progresser l'intelligence et la moralité dans toutes les classes de la société.

Si ce qui n'est jusqu'à ce moment qu'un désir et une espérance pouvait devenir une réalité, l'Europe présenterait le spectacle d'un calme, d'une sécurité, d'une prospérité et d'une grandeur si enviables, que, mieux que tout autre moyen, son exemple contribuerait à civiliser les peuples de l'Asie et de l'Afrique, et servirait peut-être même d'enseignement au Nouveau-Monde, dans le cas où des dissensions intestines viendraient de nouveau y menacer et y enrayer le progrès, la prospérité et la civilisation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IV

L'ACIER EN 1867

PAR M. E. FREMY.

Tout le monde sait à quel point les questions qui se rapportent à l'aciération intéressent l'industrie. C'est avec l'acier qu'on fabrique aujourd'hui les rails, les essieux, les bandages de roues, les tiges de piston, les arbres de machines, certaines tôles, les bouches à feu, les canons de fusils, etc.; en un mot, les peuples demandent à la fabrication de l'acier leurs principaux outils, leurs machines les plus résistantes, leurs meilleurs engins d'attaque ou de défense. On peut dire que les nations qui resteront en dehors des progrès qui s'introduisent dans la fabrication de l'acier se préparent tôt ou tard une véritable infériorité.

La France doit donc étudier avec grand soin, à la suite de chaque Exposition universelle, les perfectionnements qui ont été introduits dans l'aciération; elle doit rechercher également ceux que l'avenir amènera. En 1862, j'avais déjà fait ressortir, dans un rapport sur la fabrication de l'acier, tous les avantages que devait présenter le procédé Bessemer, qui, à cette époque, était à peine connu et dont les fabricants d'acier contestaient généralement l'importance. A la suite de notre Exposition de 1867, en négligeant toutes les questions théoriques relatives à la constitution de l'acier que j'ai traitées ailleurs, je viens examiner de nouveau l'état de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'aciération; je rechercherai si mes prévisions de 1862 se sont réalisées, et je tâcherai de faire ressortir les perfectionnements que l'on peut encore apporter dans la fabrication de l'acier.

Parmi les différents aciers que consomme l'industrie, il me paraît utile de distinguer : d'abord ceux que l'on destine à la fabrication d'instruments délicats et qui constituent les *aciers fins;* puis ceux que l'on peut appeler les *aciers à bon marché*, qui doivent être fabriqués en quantité considérable, et pour lesquels on n'exige pas la qualité des premiers aciers.

§ 1. — Acier fin au petit creuset.

Depuis 1862, la fabrication des aciers fins n'a pas reçu de perfectionnements notables; c'est toujours en suivant les principes que M. Le Play a si bien exposés en 1851 que l'on peut obtenir les premières marques d'acier fondu.

Lorsque l'on fond, par la méthode que Benjamin Huntsmann a introduite à Sheffield, vers l'année 1749, les bons fers cémentés, on produit toujours d'excellents aciers fondus. Je n'ai donc rien de particulier à signaler dans la fabrication de l'acier au petit creuset; seulement je dirai que, dans plusieurs usines, l'aciération se produit dans le creuset même, et qu'on obtient des aciers de toutes qualités, en faisant fondre le fer soit avec de la fonte, soit avec des mélanges de charbon et d'oxyde de manganèse. Cependant l'aciération produite dans le creuset, au moyen de la fonte, ne vaut jamais celle qui a été obtenue par la cémentation.

§ 2. — Acier puddlé.

La fabrication de l'acier puddlé est restée également telle que M. Michel Chevalier l'avait décrite en 1855, dans son remarquable Rapport sur l'Exposition. Cependant je présenterai ici quelques observations importantes sur cette fabrication.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On a cru pendant longtemps que, dans la préparation de l'acier puddlé, il fallait employer des fontes spéciales, douées d'une *propension aciéreuse* qu'elles devaient à leurs minerais, et que, dans leur traitement pour l'acier, il était utile d'avoir recours au sel et au peroxyde de manganèse.

Ces idées doivent être abandonnées aujourd'hui. Pour obtenir de bons aciers puddlés, il ne faut pas avoir recours à des fontes spéciales; le sel et le peroxyde de manganèse ne sont plus employés dans cette opération. Toutes les fontes contiennent l'élément aciéreux qui convient à l'acier puddlé; mais cependant toutes ne peuvent pas être employées dans cette fabrication : on doit éliminer les fontes phosphoreuses et sulfureuses, parce que le soufre et le phosphore, qui nuisent, comme on le sait, aux qualités de l'acier, ne sont séparés qu'incomplétement par le puddlage.

Lorsque la fonte est choisie, il est utile, en la traitant, de conserver dans le métal puddlé l'élément aciéreux. Il faut donc analyser avec le plus grand soin les fontes que l'on destine à la fabrication de l'acier puddlé, et rejeter sans hésitation celles qui contiendraient plusieurs millièmes de soufre et de phosphore; quant au silicium, il n'est réellement pas à redouter, lors même qu'il se trouve dans la proportion de deux ou trois centièmes, parce que le puddlage l'élimine presque complétement. Dans le traitement pour acier des fontes fortement siliceuses, je conseillerai de conduire avec une grande lenteur la première partie du puddlage qui, dans le four, peut remplacer complétement le mazéage, parce que c'est dans cette partie de l'affinage que s'élimine le silicium. Si l'opération était trop précipitée, le silicium ne serait pas complétement séparé, et l'acier présenterait au martelage des criques nombreuses.

Dans les derniers moments du puddlage de l'acier, l'ouvrier doit produire dans son four une atmosphère peu oxydante; sans cette précaution, il brûlerait une partie de l'élément aciéreux et produirait de l'acier ferrugineux. Cette fabrication présente donc

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'inconvénient de laisser le fabricant sous la dépendance de l'ouvrier ; la qualité de l'acier puddlé dépend entièrement de l'adresse du puddleur qui, suivant son habileté, produira avec la même fonte, soit du fer, soit de l'acier, soit de l'acier fonteux, soit de l'acier ferrugineux.

Dans notre rapport de 1862, nous disions que l'acier puddlé s'était fait sa place dans l'industrie et qu'il ne disparaîtrait pas : les faits sont venus confirmer complétement cette opinion ; l'acier puddlé l'emporte souvent sur les aciers fabriqués par d'autres méthodes ; il est surtout remarquable par sa malléabilité à froid et sa facilité à souder ; quand il a été préparé avec soin et qu'il n'est pas ferrugineux, il présente même souvent une trempabilité plus énergique que l'acier cémenté et fondu. Nous avons fait préparer, sous nos yeux, à Fourchambault, de l'acier puddlé, qui a été employé ensuite, sans être fondu, à la confection d'excellents rasoirs, par M. Picault, l'habile coutelier français que tout le monde connaît.

Pour donner à la fabrication de l'acier puddlé une importance encore plus grande, il s'agirait d'opérer sa fusion d'une façon économique. La fusion au petit creuset est malheureusement une opération fort dispendieuse et qui, par 100 kilogrammes, augmente environ de 15 francs le prix de l'acier fondu.

Je suis persuadé, d'après des essais divers exécutés dans des aciéries, que le four Siemens pourrait être employé utilement pour la fusion de l'acier puddlé. En admettant, en effet, que la sole d'un four Siemens, sur laquelle on pourrait introduire une certaine quantité de *spiegel eisen* et de laitier, fût élevée à la température de fusion de l'acier, et que le puddleur, au lieu de porter sa masse de fer rouge sous le marteau-pilon, l'introduisît dans le four Siemens convenablement chauffé, le métal rouge et spongieux entrerait en fusion avec facilité.

Je ne saurais trop recommander ces essais aux fabricants d'acier qui sont en possession d'un four à gaz ; le prix de l'acier puddlé sortant du four n'est pas plus élevé que celui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du fer; il est évident qu'on produirait ainsi de l'acier fondu dans les conditions les plus économiques.

§ 3. — Acier Bessemer.

Si les fabrications d'acier au petit creuset et d'acier puddlé sont restées à peu près stationnaires depuis 1862, il n'en est pas de même de la fabrication de l'acier Bessemer; mais, avant d'examiner cette intéressante fabrication, je présenterai ici quelques considérations théoriques que je crois utiles, sur les minerais et les fontes qui sont destinés à l'aciération.

Dans les différents mémoires que j'ai publiés sur l'aciération, tous mes efforts ont eu pour but de déterminer les conditions qui conviennent le mieux à la production économique de l'acier fondu.

A une époque où l'acier fondu tend à se substituer au fer, dans la plupart de ses applications, il fallait, avant tout, chercher des méthodes qui pussent donner un acier fondu dont le prix de revient se rapprochât de celui du fer. Pour arriver à ce résultat, deux questions étaient à résoudre. Il fallait d'abord prouver qu'un grand nombre de minerais de fer pouvaient être employés à la fabrication de l'acier; en second lieu, il s'agissait de déterminer la méthode qui convenait le mieux à la fabrication économique d'un bon acier fondu. Mes premières études ont donc porté sur l'examen chimique des minerais qui pourraient être appliqués à la fabrication de l'acier.

Au début de mes recherches sur l'aciération, j'avais évidemment à combattre une école d'ingénieurs et de métallurgistes qui admettait l'existence des *minerais d'acier* et qui pensait que *la propension aciéreuse* de certains minerais de fer était due à la présence d'un corps mystérieux, d'un *élément aciéreux*, qui ne se trouvait que dans quelques minerais privilégiés. Si cette idée eût été exacte, il est évident que la fabrication économique de l'acier n'eût pas pu se développer en France. En effet, la France possédant fort peu de ces prétendus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

minerais d'acier ; il eût fallu les acheter à l'étranger, à la Suède ou à la Russie, qui les aurait vendus à des prix très-élevés.

A la suite de recherches chimiques et métallurgiques, dont les détails ne peuvent pas être consignés dans ce rapport, j'ai été assez heureux pour reconnaître que la propension aciéreuse des fers et des fontes n'est pas due à la présence d'un corps particulier, mais uniquement à la pureté du minerai et à la méthode employée pour le réduire. J'ai donc pu établir le principe suivant, que je crois de la plus grande importance :

Tout bon minerai de fer, traité convenablement, peut produire un acier excellent.

Quels sont les minerais qui doivent être choisis pour la fabrication des fontes à acier? Ce sont ceux qui ne contiennent ni phosphore, ni arsenic, ni soufre, et qui sont manganésifères; le manganèse est utile, mais il n'est pas nécessaire.

A la rigueur, un habile directeur de hauts fourneaux pourrait produire de bonnes fontes à acier en opérant avec des minerais sulfureux, puisqu'il obtient de bonnes fontes avec des cokes, qui contiennent toujours du soufre ; mais j'ai la conviction qu'il ne produira jamais des fontes à acier en employant des minerais contenant des proportions notables d'arsenic et de phosphore. Je ne connais pas d'allure de fourneau qui permette de séparer ces métalloïdes de la fonte et de les faire passer dans les laitiers. Or une fonte phosphoreuse ou arsenicale produit toujours des aciers détestables.

Je donne donc aux fabricants d'acier le conseil de rejeter, sans hésitation, toutes les fontes qui contiennent du phosphore, de l'arsenic, ou du soufre en proportions dosables. Le silicium n'est pas à redouter ; il est même indispensable dans l'opération Bessemer : c'est *le combustible* qui produit la chaleur nécessaire à cette opération ; dans un affinage bien conduit, il s'élimine du reste presque complétement. Quant au manganèse, il joue, selon moi, le rôle le plus utile dans l'aciération : c'est un épurateur très-énergique ; il élimine, il scorifie tous les éléments

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui nuisent à l'aciération; et en outre, en entrant dans la constitution de certains aciers, il y maintient le principe aciéreux; il empêche que les aciers ne se décomposent et ne se brûlent par l'action du feu. Le fabricant devra donc rechercher les minerais de fer et les fontes qui contiennent du manganèse.

Lorsqu'on aura à choisir parmi plusieurs minerais pour la fabrication d'une fonte à acier, je conseillerai de donner la préférence aux minerais riches, tels que ceux qui viennent de l'Espagne, de l'Algérie, de l'île d'Elbe, de la Sardaigne et qui rendent de 50 à 60 pour 100 de fer. Ces minerais sont rarement phosphoreux.

Après le choix du minerai, arrive son mode de traitement. On a cru pendant longtemps que la réduction au charbon de bois produisait des fontes qui convenaient mieux à la fabrication de l'acier. Cette opinion ne peut plus être admise aujourd'hui, du moins quand il s'agit de la fabrication de l'acier puddlé, et surtout de celle de l'acier Bessemer. Dans la production de l'acier cémenté, la fonte au bois présente au contraire un avantage incontestable sur la fonte au coke : cette dernière est toujours fortement siliceuse et retient de petites quantités de soufre qui suffisent pour donner au fer une certaine résistance à l'aciération.

En résumant donc ici les observations que j'ai faites relativement aux minerais et aux fontes que l'on destine à l'aciération, je dirai que tous les minerais de fer qui ne contiennent ni soufre ni phosphore peuvent être considérés comme aciéreux; on devra cependant donner la préférence à ceux qui sont manganésifères.

Lorsqu'il s'agit de préparer un fer que l'on destine à la cémentation, ou à l'aciération dans le petit creuset, celui qui provient de l'affinage d'une fonte au bois manganésée donnera de meilleurs aciers que celui qui est obtenu au moyen d'une fonte au coke.

Quant à l'emploi des fontes dans la préparation de l'acier puddlé et de l'acier Bessemer, je dirai que les fontes au coke

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peuvent donner d'excellents résultats, lorsqu'elles sont convenablement préparées : elles ne doivent contenir ni soufre ni phosphore en quantités dosables ; la présence du manganèse n'est pas indispensable, mais cependant ce métal contribue à la qualité de l'acier.

Une bonne fonte au coke destinée a l'aciération, doit se rapprocher de la composition suivante :

Manganèse	2.0
Silicium	2.5
Carbone libre et combiné	3.5
Fer	92.0

En choisissant convenablement les minerais de fer qui existent en France ou ceux qui nous arrivent facilement de l'étranger, et en donnant au fourneau une allure dans laquelle le laitier fortement calcaire retient tout le soufre du coke, nos maitres de forges français peuvent tous produire des fontes aciéreuses. J'affirme donc que la France se trouve dans une situation excellente pour préparer facilement et avec économie la matière première de l'aciération, c'est à dire la fonte aciéreuse.

Examinons maintenant comment cette fonte doit être traitée pour donner de l'acier en masse considérable et dans des conditions économiques.

S'il s'agit de produire à bon marché de l'acier non fondu, j'ai déjà dit que le puddlage, conduit d'une manière régulière, me paraît avoir un avantage considérable sur tous les autres modes d'aciération. Mais l'industrie demande aujourd'hui, pour une foule d'applications, de l'acier qui ait pris, par la fusion, une homogénéité que ne présentent jamais les aciers puddlés ou corroyés. Quel est le mode de fabrication d'acier fondu qui convient le mieux aux exigences de l'industrie moderne et qui permettra surtout de livrer ce métal à un prix ne dépassant que de peu celui du fer? C'est cette question que j'avais déjà traitée dans mon rapport de 1862, et que je vais aborder de nouveau ici.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En présence de toutes les objections que soulèverait, en Angleterre et en France, le procédé Bessemer, je n'avais pas hésité cependant à déclarer, dès 1862, que ce nouveau mode d'aciération devait prendre une extension considérable et rendre les plus grands services à l'industrie. En me rappelant toutes les oppositions que j'ai rencontrées alors, qu'il me soit permis de constater ici, avec un vif sentiment de satisfaction, que mes prévisions se sont complétement justifiées.

En effet, la fabrication de l'acier Bessemer a pris en France un développement qui s'accroît chaque jour; nos fabriques ne peuvent pas suffire aux commandes ; l'abaissement des prix les empêche seul de réaliser de grands bénéfices.

L'opération Bessemer étant aujourd'hui connue de tous les métallurgistes, je crois inutile de la décrire de nouveau avec détail. On sait que, dans ce mode ingénieux d'aciération, la fonte en fusion est soumise à l'action d'un courant d'air, dont l'oxygène brûle le silicium et le carbone combinés au fer. Cette combustion produit une telle chaleur, que le fer provenant de l'affinage reste lui-même en fusion. Lorsqu'on reconnaît, à l'aspect de la flamme, que le silicium et le carbone sont complétement brûlés, on mélange au fer fondu une certaine quantité de fonte qui, suivant sa nature et la proportion dans laquelle on la fait intervenir, forme les aciers des différentes marques. Tel est le principe de l'opération Bessemer.

Je n'ai pas à insister sur les qualités du métal qu'elle produit; elles sont aujourd'hui appréciées par tous les ingénieurs, qui demandent à nos usines des quantités énormes de rails et de bandages de roues en acier Bessemer.

Ayant fait ressortir, dans mon rapport de 1862, toute l'importance de l'aciération Bessemer, je me propose seulement ici de faire connaître certaines circonstances qui pourraient compromettre l'avenir de cette fabrication, si on n'en tenait pas un compte suffisant.

Il ne faut pas oublier d'abord que l'opération Bessemer

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exige des qualités de fontes spéciales. On n'obtiendra jamais un bon acier Bessemer en opérant avec des fontes sulfureuses et phosphoreuses. En effet, l'affinage dans le convertisseur Bessemer diffère essentiellement de celui qui s'exécute dans le four à puddler ; dans cette dernière opération, l'ouvrier n'agit que sur 200 kilogrammes de fonte, qui restent quelquefois 1 heure et demie ou même 2 heures dans le four; pendant ce temps, l'oxygène de l'air et surtout celui de l'oxyde de fer peuvent épurer complétement la fonte et en séparer les corps étrangers au fer : tandis que, dans le convertisseur Bessemer, l'opération se fait sur une quantité énorme de fonte qui est ordinairement de 3,000 kilogrammes, et qui peut aller jusqu'à 15,000 kilogrammes; elle est en outre nécessairement rapide ; le convertisseur et les tuyères entreraient en fusion, si le temps de l'affinage était trop long. Dans une opération qui ne dure que de 20 à 30 minutes, il ne faut donc employer que des fontes qui puissent s'épurer complétement dans un intervalle aussi court ; c'est ce qui nécessite le choix de fontes dans les conditions de pureté que je viens d'indiquer.

Le silicium n'est pas à redouter; c'est lui qui, en brûlant, produit la chaleur nécessaire à l'opération et à la fusion du fer. Les fontes riches en silicium sont dites *chaudes* et sont recherchées dans l'opération Bessemer ; elles contiennent environ 3 pour 100 de silicium; les fontes *froides* sont d'un traitement difficile et ne contiennent que 1 à 2 pour 100 de silicium.

Un directeur de haut fourneau qui saura conduire convenablement son appareil, qui aura choisi des minerais riches, manganésifères et non phosphoreux, qui produira des laitiers fortement basiques et assez épurateurs pour retenir tout le soufre du coke, obtiendra des fontes chaudes convenables au Bessemer; ces fontes ne doivent-être ni blanches ni truitées, ni noires ; elles doivent présenter un aspect gris; le grain doit être brillant et ouvert.

Lorsque la fonte à été convenablement choisie, il s'agit de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la faire entrer en fusion, avant de l'introduire dans le convertisseur. Cette fusion de la fonte pour le Bessemer est encore une opération délicate, sur laquelle j'établirai quelques principes utiles pouvant exercer une grande influence sur le succès de l'opération.

Une bonne fonte mal fondue peut donner quelquefois un acier Bessemer détestable, et produire surtout un déchet considérable.

Le but que l'on doit se proposer, dans cette fusion de la fonte pour le Bessemer, est d'obtenir une fusion rapide, sans altérer la qualité de la fonte, et de donner, en outre, au métal une température aussi élevée que possible.

Deux espèces de fours peuvent être employés pour la fusion de la fonte destinée au Bessemer : le cubilot et le four à réverbère qui donnent également de bons résultats quand on sait les employer.

Le four à réverbère fond facilement 4,000 kilogrammes de fonte ; mais si la combustion de la houille n'est pas activée par un courant d'air suffisant, la fusion sera souvent très-lente, et pourra durer quatre ou cinq heures, ce qui présente alors un inconvénient grave. Je me suis assuré en effet que, pendant cette fusion de quatre ou cinq heures dans un four à réverbère, la fonte subit un véritable affinage ; elle perd une certaine partie de son carbone et surtout de son silicium ; elle se change dans ce cas en *fine-métal* qui est moins fusible que la fonte, et qui présente, au moment de son introduction dans le convertisseur, une sorte d'état *pâteux* ; et, alors, quand le courant d'air la traverse, elle devient *mousseuse*, s'affine incomplétement, et produit des projections qui déterminent un déchet énorme.

Il est donc important de donner au four des dispositions telles, que la fusion de la fonte s'effectue en deux ou trois heures, et que la température du métal soit aussi élevée que possible.

Le cubilot peut être employé également avec avantage dans la fusion des fontes destinées au Bessemer : ce fourneau produit évidemment une température plus élevée que le réverbère,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et, comme ce dernier four, n'altère pas la fonte par oxydation. Mais, dans le cubilot, la fonte se trouve en rapport direct avec le combustible, ce qui n'a pas lieu dans le réverbère. Si donc le coke introduit dans le cubilot est sulfureux, la fonte peut être modifiée au moment de sa fusion et prendra du soufre au combustible, ce qui devient un grave inconvénient. Dans le cas où le cubilot est employé à la fusion de la fonte destinée au Bessemer, si le coke est légèrement sulfureux, je conseille d'ajouter au combustible une faible quantité de chaux, qui retiendra le soufre et qui contribuera même à l'épuration de la fonte au moment de sa fusion.

La fonte ayant été convenablement choisie et fondue avec toutes les précautions que je viens d'indiquer, il s'agit de la traiter au convertisseur pour la transformer en acier. Cette dernière partie de l'opération est d'une simplicité telle que, dans plusieurs usines, on la confie à de simples ouvriers qui, en peu de mois, sont assez exercés pour la conduire sans accident. La partie délicate de cet affinage est évidemment le point d'arrêt, qui détermine la nature de l'acier. On se laisse diriger alors par l'aspect de la flamme : lorsqu'on veut produire un acier doux, mais cependant trempant encore avec énergie, on doit arrêter le courant d'air au moment où la flamme présente une légère teinte jaunâtre; si l'on veut obtenir un acier très-doux et ne trempant pas, il faut prolonger l'opération de quelques secondes.

Le spectroscope peut, dans certains cas, servir à fixer le terme de l'opération : lorsque toutes les raies du spectre disparaissent, à l'exception de celle du sodium, on peut considérer l'opération comme terminée. Mais, pour un acier extra-doux, le spectroscope ne donne pas d'indications suffisantes; c'est l'habitude seule qui peut guider.

La durée de l'opération n'exerce pas seule de l'influence sur les qualités de l'acier : elles dépendent aussi des proportions de spiegel eisen qui sont mélangées au fer : ces quantités varient de 5 à 10 pour 100.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tel est le procédé Bessemer, qui fonctionne aujourd'hui avec une grande régularité dans plusieurs usines françaises et étrangères. Il a donné tous les avantages que j'avais annoncés en 1862 : il permet, en effet, de produire, dans une opération qui ne dure souvent que dix-huit minutes, de 3 à 15 tonnes d'acier fondu, avec un déchet de 17 pour 100, et en employant des fontes dont le prix varie de 100 à 113 francs la tonne.

Le lingot d'acier Bessemer peut donc revenir de 22 à 25 francs les 100 kilogrammes ; il est difficile, je crois, de trouver un procédé de fabrication d'acier fondu qui soit plus économique. Cependant des perfectionnements peuvent être introduits, selon nous, dans l'opération Bessemer. Le plus important de tous est certainement l'emploi direct de la fonte sortant du fourneau à l'état de fusion.

Dans une publication précédente, j'avais dit que l'on parviendrait certainement à produire de l'acier dans le creuset du haut fourneau, comme on en obtient dans le convertisseur Bessemer, en faisant agir un courant d'air ou de l'oxyde de fer sur la fonte en fusion ; je crois encore que cette importante opération s'exécutera un jour, ce qui donnera l'acier fondu presque au même prix que la fonte.

Mais, en attendant la réalisation industrielle de cette idée, il est évident que les fabricants d'acier Bessemer ont tout intérêt aujourd'hui à faire couler la fonte du haut fourneau dans le convertisseur Bessemer, en évitant ainsi les frais de fusion de la fonte et surtout l'altération que la fonte peut éprouver, soit dans le four à réverbère, soit dans le cubilot. Plusieurs usines opèrent ainsi et produisent directement de l'acier Bessemer excellent, dans les conditions les plus économiques. On dira peut-être qu'en introduisant dans le convertisseur Bessemer de la fonte fondue, on agit sur une fonte de composition inconnue, dont le grain n'a pas été examiné à l'avance. Cette objection ne me paraît pas sérieuse ; en effet, j'étudie depuis de longues années des fontes aciéreuses ; je n'ai jamais tiré d'indications certaines de leurs propriétés phy-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

siques et de leur aspect. J'ai rencontré des fontes très-phosphoreuses offrant l'apparence de fontes excellentes pour le Bessemer, et qui donnaient des aciers détestables. Rien ne peut remplacer l'analyse chimique ; or il est aussi facile d'analyser une fonte prise dans le creuset du haut fourneau que celle qui a été coulée et qui se trouve refroidie. En outre, un directeur habile de haut fourneau connaît toujours la nature de sa fonte à l'inspection de son laitier. Enfin je dirai que, pour entretenir convenablement une fabrication importante d'acier Bessemer, il faut avoir à sa disposition plusieurs hauts fourneaux ; lorsque la qualité d'une fonte commence à baisser et ne convient plus au Bessemer, on doit immédiatement en choisir une autre.

Je n'hésite donc pas à dire que, pour arriver à une production économique d'acier Bessemer, telle que la demandent aujourd'hui nos ingénieurs de chemins de fer, qui songent sérieusement à remplacer leurs rails de fer par des rails d'acier, il faut prendre directement la fonte dans le haut fourneau ; mais, dans ce cas, on doit s'assurer, par des analyses souvent répétées, que la composition de la fonte ne varie pas sensiblement, qu'elle ne présente ni soufre ni phosphore et qu'elle contient toujours de 2 à 3 pour 100 de silicium.

J'arrive maintenant à quelques considérations relatives à la qualité de l'acier Bessemer.

Au début de la fabrication, j'ai vu adresser de tous côtés, en France comme en Angleterre, les plus grandes critiques à cet acier. On soutenait que ce métal n'était pas de l'acier, parce qu'il ne trempait pas ; on avait même proposé de lui donner un nom spécial, pour le distinguer de l'acier véritable. Je crois que, en présence du succès de l'acier Bessemer, toutes ces critiques sont tombées aujourd'hui, et que ceux qui les ont émises regrettent vivement de les avoir énoncées. Quant à moi, j'ai toujours soutenu, dans mes écrits et dans mes cours, la fabrication Bessemer, parce que je m'étais assuré, par des expériences nombreuses, suivies dans des usines, que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la méthode Bessemer était capable de donner de bons aciers. Seulement, si l'acier Bessemer peut être de bonne qualité, il peut aussi être détestable, lorsqu'on n'a pas observé toutes les précautions que j'ai indiquées dans cette notice.

Si la fonte employée est légèrement sulfureuse ou phosphoreuse, l'acier manquera toujours de *corps* et de ténacité ; sous l'action du marteau-pilon, ou sous celle des laminoirs, il présentera des criques nombreuses.

Si la fonte, quoique excellente, a été introduite trop froide dans le convertisseur, ou trop *avancée*, elle s'affinera incomplétement, en produisant un acier siliceux qui aura de nombreux défauts. Il est encore une observation que je ne saurais trop recommander aux fabricants d'acier Bessemer : c'est d'opérer le mélange aussi intime que possible du fer fondu et du *spiegel eisen*. Il est évident que, si ce mélange n'est pas fait convenablement, l'acier Bessemer ne sera pas homogène ; il présentera, à l'usage, des vices de toute nature.

Or, quand on opère sur plusieurs tonnes de fonte, qui souvent produisent dans le convertisseur 5 à 6,000 kilogrammes de fer en fusion, il n'est pas toujours facile de mélanger intimement cette quantité énorme de fer fondu avec la faible proportion de *spiegel eisen* qui constitue le coupage final.

En général, lorsque le *spiegel* est ajouté dans le convertisseur au fer fondu, on se presse trop de couler l'acier dans la poche. Il est convenable de laisser le mélange des deux métaux se compléter dans le convertisseur. Je me suis assuré qu'on pouvait, sans inconvénient, attendre quinze à vingt minutes : la température qui s'est produite pendant l'opération au moment de la combustion du silicium est très-élevée et ôte tout danger de solidification de l'acier dans le convertisseur.

Quant à la trempabilité de l'acier Bessemer, je n'ai jamais compris qu'on pût la mettre en doute ; elle dépend entièrement de la quantité de *spiegel eisen* qu'on ajoute au fer, à la fin de l'opération. En employant 10 à 15 pour 100 de *spiegel*, on obtient des aciers Bessemer qui trempent avec la plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grande énergie. Seulement, je dois faire ici une observation générale qui se rapporte aux limites de qualité que peut donner l'acier Bessemer.

Les aciers Bessemer *doux* ont, selon moi, un très-grand avenir; il n'en est pas de même des aciers Bessemer *durs et trempants;* ces derniers sont toujours fonteux et manquent de corps; cela tient à leur mode même de fabrication. Pour me faire comprendre, on me permettra d'entrer dans quelques détails relatifs à la préparation de l'acier.

Parmi les différents procédés qui sont employés pour produire les aciers, je signalerai surtout les suivants :

1° *L'aciération par cémentation,* dans laquelle le fer, aussi pur que possible, reçoit ses éléments aciérants du charbon de bois;

2° *L'aciération par le puddlage,* dans laquelle l'oxygène enlève successivement tous les éléments étrangers qui existent dans la fonte et ne lui laisse que ceux qui doivent constituer l'acier;

3° *L'aciération par la fonte,* dans laquelle la fonte vient apporter au fer tous les éléments de l'aciération.

Si les deux premiers modes d'opérer peuvent produire des aciers très-purs, il n'en est pas de même du troisième; car, si la fonte présente les éléments de l'acier, elle contient certainement autre chose; il s'y trouve, à n'en pas douter, des corps étrangers qui sont inutiles et souvent nuisibles à l'acier. Ainsi, tout mode d'aciération fondé sur la fusion du fer avec la fonte, produira des aciers d'une certaine impureté. C'est à ce dernier mode d'aciération que se rattache évidemment l'opération Bessemer; en effet, lorsque la fonte est affinée par un courant d'air, c'est du fer fondu qui reste dans le convertisseur; le *spiegel eisen*, que l'on ajoute ensuite, produit l'aciération du fer, mais il introduit nécessairement dans l'acier quelques éléments nuisibles tels que le soufre et le silicium. L'acier Bessemer présente donc tous les inconvénients

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des aciers à base de fonte. Or lorsqu'on produit des aciers Bessemer doux, il suffit d'ajouter au fer 5 à 7 pour 100 de *spiegel;* dans ce cas, les impuretés de la fonte n'exercent pas d'influence fâcheuse; mais si cette proportion est dépassée, si elle arrive à 12 ou 15 pour 100, c'est alors que l'acier, en devenant dur et trempant, se trouve en même temps fonteux et qu'il perd toute qualité. J'aurais donc une grande confiance dans les aciers Bessemer doux, qui ont été produits avec une proportion de *spiegel* aussi faible que possible, mais je suis loin d'estimer au même degré les aciers Bessemer durs, obtenus avec un excès de *spiegel.*

L'acier Bessemer ne convient donc qu'à certains usages; et sa qualité peut difficilement égaler celle de l'acier cémenté et fondu.

Du reste, l'aciération par la méthode Bessemer est encore toute nouvelle; il serait injuste de lui demander une perfection que le temps seul peut lui donner.

Comme les défauts de l'acier Bessemer sont dus au *spiegel*, on trouvera, je n'en doute pas, le moyen d'opérer le coupage final avec des fontes manganésées très-pures, qui fourniront au fer l'agent aciéreux utile, sans lui donner en même temps l'élément fonteux, dont l'excès est nuisible.

§ 4. — Avenir de l'aciération.

Après avoir passé en revue les principales questions qui intéressent la production de l'acier, qu'il me soit permis, en terminant, de résumer, en quelques lignes, l'état actuel de l'aciération et d'indiquer les perfectionnements que l'avenir doit apporter dans cette fabrication :

1° La fabrication de l'acier cémenté et la fusion de l'acier au petit creuset sont restées telles que M. Le Play les a décrites en 1851. Le mode d'aciération par la cémentation exige toujours des fers d'une grande pureté; on peut rendre la cémentation plus rapide, en faisant arriver dans le four des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vapeurs ammoniacales; cette opération pourra principalement être utile, lorsqu'il s'agira d'aciérer des barres de fer à leur surface seulement, en conservant l'intérieur du métal à l'état nerveux.

Quant à la fusion au petit creuset, c'est toujours une opération fort dispendieuse; on peut cependant, en diminuer les frais en remplaçant les fours de fusion au coke par des fours à la houille. Les ouvriers pensent que la flamme de houille, qui est toujours sulfureuse, tend à diminuer la qualité de l'acier; je crois que cette influence a été fort exagérée, et qu'en choisissant convenablement la houille on peut déterminer la fusion de l'acier sans l'altérer. Dans tous les cas, la fusion de l'acier dans des fours chauffés à la houille permet de réaliser une économie importante sur la consommation des creusets, qui peuvent opérer plusieurs coulées, parce qu'ils ne sont plus en contact avec le combustible, tandis que, dans le chauffage au coke, le creuset se trouve rapidement altéré par les cendres du combustible.

Le four Siemens peut être utilisé aussi dans la fusion de l'acier, et laisse aux creusets une durée plus longue encore que le chauffage ordinaire à la houille.

Les creusets qui sont employés à la fusion de l'acier cémenté ou puddlé peuvent servir aussi à la préparation directe de l'acier fondu.

J'ai produit souvent des aciers excellents en fondant du fer avec quelques centièmes de *spiegel*, ou bien avec un mélange de charbon et de peroxyde de manganèse.

2° La fabrication de l'acier puddlé, si bien décrite en 1855 par M. Michel Chevalier, est restée stationnaire depuis cette époque. Seulement, on a reconnu qu'elle pouvait s'appliquer à une foule de fontes fabriquées en France et que jusqu'alors on n'avait pas considérées comme aciéreuses.

Le perfectionnement considérable qui pourrait être introduit dans la fabrication de l'acier puddlé est celui que j'ai proposé et qui consisterait à transporter les boules d'acier

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rouges dans un four à gaz spécial, où la fusion serait effectuée. Si cette opération pouvait devenir pratique et industrielle, elle donnerait, je crois, l'acier fondu à un prix inférieur à celui de l'acier Bessemer; et, en outre, comme l'épuration par le puddlage est plus active que celle qui a lieu dans le Bessemer, on pourrait employer pour l'aciération bien des fontes qui sont aujourd'hui rejetées.

3° L'aciération Bessemer a pris, depuis 1862, tout le développement que j'avais prévu. Elle donne déjà l'acier fondu à des prix très-modérés qui se rapprochent beaucoup de ceux du fer, et cependant cette fabrication est loin d'avoir dit son dernier mot.

Les perfectionnements et les recherches relatives au Bessemer doivent porter sur l'emploi direct de la fonte sortant du haut fourneau et surtout sur l'élimination du soufre et du phosphore qui existent dans certaines fontes. Jusqu'à présent, on ne peut employer pour le Bessemer que des fontes produites avec des minerais purs et qui reviennent à des prix élevés. Si la chimie trouvait le moyen d'éliminer entièrement le soufre et le phosphore des fontes ordinaires, ce qui n'est pas impossible, on pourrait faire entrer dans le convertisseur des fontes à 8 francs les 100 kilogrammes; la consommation de l'acier Bessemer augmenterait alors dans une proportion considérable. C'est donc à l'épuration des fontes sulfureuses et phosphoreuses que doivent s'attacher tous les chimistes qui veulent faire avancer la fabrication de l'acier.

4° Enfin, tout en reconnaissant l'importance des services que le procédé Bessemer peut rendre à l'industrie, doit-on dire que cette méthode d'aciération représente le dernier degré de perfection dans la fabrication économique de l'acier fondu? Je ne le crois pas.

Je connais trop aujourd'hui toutes les difficultés qu'offrent les opérations métallurgiques pour affirmer l'avenir d'une idée que la pratique n'aurait pas encore sanctionnée; mais, cependant, je n'hésite pas à dire que les résultats merveilleux ob-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tenus dans quelques industries au moyen du four Siemens, permettent de penser que cet appareil pourra peut-être aussi devenir d'un grand secours dans l'aciération. Il permet, en effet, de produire les températures les plus élevées, en faisant des mélanges convenables d'air atmosphérique et de gaz carburés, et de réaliser ces *atmosphères gazeuses chimiquement neutres* qui, se trouvant en présence de l'acier fondu, ne l'altèrent pas. Nous donnons le nom d'atmosphères neutres à des mélanges d'air et de gaz carburés, en proportions telles que leur réaction mutuelle produise la température de fusion de l'acier sans excès de carbone qui rendrait l'acier fonteux, et sans excès d'oxygène qui brûlerait l'élément aciéreux. Ce qui a empêché de réaliser jusqu'à présent d'une façon régulière et économique la fusion de l'acier sur les soles de fours à réverbère, c'est d'abord qu'il était difficile de produire une température suffisante pour faire entrer en fusion une masse de métal, recouverte d'une substance vitreuse protectrice, et qu'ensuite les conditions qu'il fallait réaliser pour faire fondre l'acier étaient précisément celles qui l'altéraient. Tout le monde sait, en effet, que c'est la combustion avec excès d'oxygène qui produit la température la plus élevée, et que, dans de pareilles atmosphères, l'acier se décompose rapidement ; c'est pour éviter cette altération que l'on fait fondre l'acier dans des creusets fermés. Or, si un four à gaz produit la température de fusion de l'acier sans excès d'oxygène, on pourra, selon nous, réaliser au moyen de ce précieux appareil, non-seulement la fusion de l'acier, mais même sa formation directe au moyen des minerais. Dans l'exposition française on a vu déjà, avec le plus grand intérêt, de beaux échantillons d'acier fondu produits au réverbère dans les conditions que nous venons d'indiquer.

Nous ne saurions aussi trop appeler l'attention des métallurgistes sur la production directe de l'acier fondu au moyen des minerais, sans passer par la fonte. Si cette opération se réalise un jour, elle donnera évidemment d'excellents aciers,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

car le meilleur affinage laisse toujours dans l'acier quelques-uns des éléments nuisibles que contenait la fonte.

C'est donc, selon nous, dans l'application des fours à gaz à la métallurgie que se trouve l'avenir de l'aciération. Nous espérons que la prochaine Exposition consacrera un nouveau mode de fabrication d'acier fondu basé sur les principes suivants. Le minerai riche, ne contenant ni soufre ni phosphore, sera réduit par l'oxyde de carbone, comme dans l'opération Chenot, et donnera un métal très-pur qui, en tombant dans un four à gaz convenablement chauffé et contenant un bain de spiegel ou tout autre agent aciérant, produira immédiatement de l'acier fondu beaucoup plus pur que celui qui dérive de la fonte : c'est ainsi que seront réalisées industriellement les idées d'Ebelmen relatives à l'emploi des gaz dans la métallurgie.

Quant aux résultats acquis, disons qu'il appartient à l'Exposition Universelle de 1867 de constater une révolution considérable qui s'est introduite dans la fabrication de l'acier. Jusqu'à ces dernières années, l'acier fondu n'était produit que dans des creusets contenant à peine 20 kilogrammes de métal; la cémentation durait plusieurs jours, et quelques fontes privilégiées pouvaient seules être employées dans la fabrication du fer aciéreux. Aujourd'hui, l'acier fondu se prépare dans des cornues qui contiennent jusqu'à 15,000 kilogrammes de fonte; l'opération ne dure que quelques instants; elle consomme des fontes que tous les pays peuvent produire facilement, elle donne à bas prix un métal homogène et résistant qui, pour certaines applications, présente sur le fer des avantages incontestables.

De tels résultats sont réellement merveilleux ; ils font honneur à notre époque, et ne pouvaient être obtenus que par l'alliance, aujourd'hui indissoluble, de la science et de l'industrie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION V

FONTES ET FERS

PAR MM. EDMOND FUCHS ET P. WORMS DE ROMILLY.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

De tous les produits de l'industrie, le fer est sans contredit celui dont l'emploi s'est étendu et généralisé avec le plus de régularité et de rapidité ; il a été l'auxiliaire le plus puissant de la prospérité des pays qui possèdent les éléments de sa fabrication : combustibles et minerais ; mieux que tout autre métal, le fer se prête au travail de la forge, et il est susceptible de prendre, par le moulage, les formes les plus variées ; enfin, il est le seul métal dont on puisse modifier les propriétés presque à volonté, suivant le mode d'élaboration auquel on le soumet. Aussi ses applications multipliées, en raison des qualités qu'il possède, en ont-elles fait l'élément indispensable de toutes les industries, l'instrument essentiel de la civilisation.

Les chemins de fer, pour leur matériel fixe et roulant ; la marine, pour la construction et l'armement de ses vaisseaux ; l'architecture, pour la charpente des édifices et les mille détails de leur aménagement, en consomment d'immenses quantités. Il tend à se substituer au bois, que les défrichements

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rendent de plus en plus rare, et même à la pierre dans les grands travaux d'art, pour l'exécution desquels il fournit des solutions neuves et hardies.

Les conditions dans lesquelles s'effectuent le commerce et l'industrie du fer ont subi depuis le commencement du siècle des changements importants qui ont fait modifier les principes fondamentaux de sa fabrication.

Lorsque les voies de communication étaient rares et les moyens de locomotion imparfaits, le transport à grandes distances des matières encombrantes offrait des difficultés presque insurmontables, et ne pouvait s'appliquer qu'à des produits possédant des qualités exceptionnelles. Aussi, dans les centres industriels susceptibles de donner à leur fabrication une extension que le mouvement commercial venait seul limiter, la préoccupation dominante était d'obtenir des produits présentant la plus grande perfection possible ; les fers des anciennes forges au bois sont, en effet, restés le type des meilleurs fers.

Une autre conséquence de cet état de choses était la multiplicité des usines et leur installation partout où se trouvaient réunis, même en faible quantité, le minerai et le combustible ; car, pour peu qu'elles fussent éloignées des grands centres producteurs, les petites forges ne manquaient jamais de trouver autour d'elles un débit assuré pour leurs produits.

Depuis le siècle dernier, ces conditions se sont profondément modifiées, à mesure que l'établissement des canaux et des chemins de fer, et, d'une manière générale, le perfectionnement des voies de communication ont rendu les transports plus faciles et plus économiques. La création des tarifs différentiels, qui détruisent, pour les grandes distances, la proportionnalité entre le prix du transport et l'étendue du trajet, a permis, en même temps, à des centres de production très-éloignés les uns des autres de se présenter sur les divers marchés dans des conditions à peu près identiques.

L'abaissement des droits protecteurs a aussi contribué à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

généraliser la concurrence, limitée, dans le principe, aux établissements d'une même province, puis à ceux d'un même pays, et l'a étendue aux usines de l'Europe entière et même de l'Amérique.

Il est résulté de ce fait une baisse de prix assez considérable pour faire succomber les établissements que leur situation plaçait dans des conditions défavorables; d'un autre côté, le voisinage des matières premières, tout en restant pour les usines le principal élément de succès, n'a plus été le seul, la facilité des communications permettant d'aller chercher une partie au moins des approvisionnements à des distances souvent fort éloignées ; c'est ainsi que des usines du centre de la France demandent aujourd'hui leurs minerais à la Corse, à la Sardaigne, à l'île d'Elbe et surtout à l'Algérie, et qu'une partie des usines anglaises emploient des mélanges de minerais provenant de divers comtés, alors même qu'elles possèdent autour d'elles des gisements assez puissants pour suffire aux besoins de leur fabrication.

Le jour où les grands établissements, assez heureusement situés pour pouvoir continuer la lutte sur le terrain nouveau où elle était engagée, se sont rencontrés sur la presque totalité des marchés de l'Europe, la concurrence a pris un développement tel, que les prix ont été nivelés et réduits au minimum exigé par les conditions de vitalité des usines, placées dans les circonstances les plus favorables.

Les forges se sont alors vues dans la nécessité de perfectionner leur installation, de manière à retrouver leurs bénéfices par la diminution des charges qui grevaient leurs produits; c'est de cette époque, en effet, que datent les grandes améliorations qui ont été introduites dans la métallurgie du fer, notamment la généralisation de l'emploi de la vapeur, moins économique, mais plus sûre que les forces naturelles, et la substitution de la machine à l'ouvrier pour tous les travaux qui n'exigent que la force et la régularité. Mais ces modifications, entreprises successivement dans tous les grands centres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

industriels, n'étaient que des palliatifs temporaires et insuffisants, qui déplaçaient le problème sans le résoudre.

La solution se présentait en effet et se présente encore aujourd'hui aux usines sous deux formes bien distinctes : l'accroissement de la production, ou la fabrication des produits de qualité supérieure. Le choix entre ces deux tendances est loin d'être entièrement abandonné aux producteurs. La première exige de grands capitaux, et la possibilité de grouper autour des usines toute une population ouvrière ; la seconde n'est, par son essence même, susceptible que d'une application restreinte, et est assujettie à certaines conditions dans lesquelles les établissements métallurgiques ne sont pas maîtres de se placer.

Comme, d'autre part, les gisements de matières premières permettant d'obtenir des produits de qualités exceptionnelles ne forment qu'une faible partie de ceux qui sont utilisés par la métallurgie, il eût semblé logique que les établissements où s'effectue leur élaboration fussent installés en vue de la fabrication des fers supérieurs, tandis que ceux qui traitaient les matières premières de qualité ordinaire auraient eu principalement en vue la grande production.

Il n'en a pourtant pas toujours été ainsi ; certains districts métallurgiques, comme la Suède, la Styrie, ont, il est vrai, continué à utiliser les qualités spéciales de leurs minerais pour la production de fers et d'aciers de première marque, et quelques usines isolées donnent encore, pour base à leur travail, les principes, qui permettent d'obtenir des produits supérieurs ; mais la majorité de l'industrie métallurgique a été entraînée dans le sens de la grande production.

Cette tendance a eu pour effet de rendre la concurrence plus active encore et d'abaisser le prix de vente presque au niveau du prix de revient ; de là une préoccupation croissante de réaliser des économies sur tous les éléments de la fabrication : sur les matières premières, en se contentant de celles qui possèdent les qualités strictement nécessaires ; sur le mode

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de traitement, en réduisant les opérations au minimum indispensable à la fabrication d'un produit marchand.

La pureté des minerais a été utilisée, non pour obtenir des produits d'une valeur proportionnée à celle de la matière première, mais pour simplifier les procédés de traitement, et fabriquer économiquement des fers et des aciers comparables à ceux que l'on retirait à plus grands frais, avec les méthodes existantes, des matières premières moins parfaites. En appliquant les mêmes principes à l'utilisation de ces dernières, on est arrivé, par une pente insensible mais fatale, à rechercher avant toute autre chose l'économie dans la fabrication, et par suite à donner naissance à des produits n'ayant que les qualités strictement nécessaires à leur placement commercial.

Des efforts sérieux ont été faits, au prix de grands sacrifices et souvent sur une vaste échelle, dans le but de découvrir de nouveaux procédés de fabrication plus rapides et moins onéreux que les anciens. Ces recherches ont été poursuivies presque toutes dans le dessein de faire disparaître les inconvénients qui résultent, pour le fer et l'acier, de la difficulté du soudage, dont le degré de perfection dépend d'un travail lent et dispendieux, tandis que le métal obtenu par voie de fusion possède une homogénéité, et avec elle tout un ensemble de propriétés, que le puddlage et les élaborations qui l'accompagnent ne sauraient communiquer au même degré.

Tous ces efforts peuvent être personnifiés dans l'œuvre d'un homme qui a exercé sur la métallurgie du fer une influence presque comparable à celle de l'inventeur du puddlage. Quand, après de longues années de coûteuses et patientes recherches, M. Bessemer arriva à produire un métal ayant une grande partie des qualités de l'acier, il espéra un instant avoir trouvé une méthode qui permettait d'affiner, avec des frais minimes, les fontes de toute provenance et de toute qualité, de les transformer à volonté en fer ou en acier, et d'obtenir, dans ce dernier cas, un métal comparable aux meilleurs aciers fondus. L'expérience n'a pas confirmé ces prévisions. On a bientôt

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

compris que le nouveau procédé décarburait les fontes sans les épurer, et que, par suite, il n'était applicable qu'aux fontes naturellement pures. On a aussi reconnu que, indépendamment des difficultés pratiques que présentait la conduite de l'opération, on était loin d'être maître de produire, avec une fonte donnée, indistinctement du fer ou de l'acier, par une simple différence dans le degré de décarburation.

Ce fut une nouvelle preuve à l'appui de cette opinion, émise depuis longtemps par les métallurgistes, que l'acier différait du fer non-seulement par la proportion de carbone combiné, mais encore par sa nature même. On ignore en quoi consiste cette différence; on sait seulement qu'elle préexiste dans les minerais, qui doivent être partagés en deux groupes, suivant qu'ils sont ou ne sont pas doués de la propension aciéreuse; on a invoqué, pour expliquer cette qualité spéciale, tantôt le mode de formation, en attribuant cette propension aciéreuse aux minerais en filon, tantôt la pureté et l'état de combinaison, en la faisant dépendre de la présence du manganèse et de l'absence de l'alumine et du phosphore; tantôt le degré d'oxydation du fer, en la regardant comme inhérente aux minerais protoxydés, magnétiques ou carbonatés.

Sans nous prononcer ici sur la valeur de ces différentes interprétations, remarquons que les qualités qu'elles mettent en évidence se trouvent presque toujours réunies dans les minerais servant à la production des fers aciéreux et des aciers de première qualité. C'est donc aux fontes provenant de ces minerais exceptionnels que l'on s'est adressé pour l'application des méthodes d'affinage rapide, et ce sont elles seules qui ont permis la réalisation industrielle de ces méthodes. Les produits aciéreux que l'on obtient ainsi ne peuvent point remplacer les aciers fins extraits des mêmes minerais, et, d'autre part, les propriétés spéciales qu'ils doivent à la pureté des matières premières, à la fusion qu'ils ont subie, et à ce fait que cette fusion peut être appliquée à de très-grandes masses de métal, les distinguent de tous les produits ordinaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la métallurgie; ils constituent donc des produits nouveaux, auxquels on a donné à juste titre des noms particuliers, comme *métal Bessemer, métal homogène*, etc. Leur fabrication n'est d'ailleurs réellement économique que lorsqu'elle s'effectue par grandes quantités; il fallait donc créer des débouchés permettant d'utiliser les qualités dont ces produits sont doués, et assez importants pour absorber une production considérable.

On a trouvé un premier débouché dans les rails, qui, fabriqués avec le métal Bessemer, ne sont pas sujets à l'exfoliation, cause fréquente et presque unique de la destruction de ces produits, et qui jouissent en outre d'une homogénéité, d'une résistance et d'une élasticité bien supérieures à celles des rails en fer de bonne qualité.

Mais ici encore la concurrence, en ramenant le prix de la tonne de rails Bessemer de 700 à 315 francs, a provoqué l'emploi de fontes de plus en plus ordinaires, et l'on ne s'est arrêté dans cette voie que lorsqu'on est arrivé à la limite à partir de laquelle les matières premières cessent de se prêter à la transformation qui leur est destinée.

Dans le cas des méthodes d'affinage rapide, cette limite est toujours fort élevée; aussi devons-nous signaler comme un progrès réel les efforts récents faits en Angleterre pour l'abaisser au niveau des fontes les plus communes, en amenant ces fontes, par un affinage préalable, à une pureté suffisante pour que, recarburées, elles puissent être traitées au convertisseur Bessemer.

Les difficultés qu'offre toujours la conduite de l'opération dans ce mode de traitement, et le peu de régularité que présentent en général les résultats obtenus, ont conduit M. Martin à essayer de produire une transformation analogue de la fonte dans un four à réverbère, par l'action des minerais et du fer lui-même sur la fonte, protégée par une couche de laitiers. Ce procédé nouveau, dont il est rendu compte en détail dans le rapport spécial sur l'acier, n'a pas encore reçu entièrement la sanction de l'expérience, mais on peut dire dès aujourd'hui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que, théoriquement, il paraît présenter des avantages sérieux sur le travail au convertisseur, à cause de la facilité avec laquelle il permet de diriger la marche de l'opération et d'obtenir un produit d'une nature déterminée.

Mais la méthode de M. Martin exige, elle aussi, des fontes pures, et suppose l'emploi de minerais de choix, bien qu'elle donne des produits incapables de remplacer les aciers fins que l'on retirait autrefois de ces minerais. Nous retrouvons encore ici la tendance qui pousse actuellement la métallurgie à demander les qualités de ses produits plutôt aux matières premières qu'aux procédés d'élaboration. Cette tendance a conduit à l'exploitation très-active des gîtes de minerais de qualité supérieure, et présente tout au moins l'inconvénient d'escompter l'avenir au profit du présent. Aussi peut-on se demander s'il ne serait pas plus profitable, pour les usines qui ont à leur disposition des minerais d'une grande valeur, de les utiliser de préférence pour la fabrication des fers et des aciers exceptionnels.

Cette fabrication serait possible, malgré la rareté croissante du combustible végétal, car l'expérience a montré que la supériorité du charbon de bois sur le coke tenait surtout à sa pureté habituelle, et que, à égale teneur de cendres, les fontes au coke étaient tout à fait comparables à celles obtenues au charbon de bois. Il eût donc été plus rationnel et plus avantageux en même temps d'essayer d'obtenir, par une véritable préparation mécanique, un combustible dont la pureté eût été en rapport avec celle des meilleurs minerais.

La valeur commerciale des fers et aciers de première qualité est et restera toujours suffisante pour permettre de demander, même à une fabrication plus restreinte, et avec des risques et un mouvement de capitaux beaucoup moindres, des bénéfices au moins égaux à ceux que les établissements métallurgiques réalisent avec la tendance actuelle, en partant des mêmes éléments de fabrication.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

RÉSUMÉ HISTORIQUE.

§ 1. — Fonte.

Procédés de fabrication. — Les plus anciens procédés de fabrication du fer ont été des ébauches plus ou moins imparfaites de la méthode connue sous le nom de *méthode catalane*, et dans laquelle le minerai, mis en contact avec le charbon de bois dans un bas foyer, est transformé directement en fer ou en acier; c'est par entraînement, au moyen d'une chute d'eau, que l'air nécessaire à la combustion est amené et comprimé dans une soufflerie.

Une production faible et irrégulière, une forte consommation de combustible, des usines toujours situées dans le voisinage des gisements et d'une importance limitée par la grande étendue de forêts nécessaire à l'approvisionnement de chaque foyer, tels sont les traits caractéristiques de ce procédé, qui se trouve relégué aujourd'hui dans les pays dépourvus de voies de communication, mais riches en bois et en minerais de bonne qualité, comme les Pyrénées, certaines provinces de l'Espagne et quelques parties de l'Inde.

L'innovation capitale, celle qui a servi de point de départ à la métallurgie actuelle du fer, a été l'invention du haut fourneau et la création d'un produit nouveau, la fonte, qui par ses propriétés spéciales est bientôt devenue un des éléments indispensables de l'industrie.

Les premiers hauts fourneaux produisaient à peine une tonne de fonte par jour; mais, dès la fin du XVI^e^ siècle, cette production avait triplé; en 1760, l'invention des cylindres soufflants, par Smeaton, permit de beaucoup augmenter la pres-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sion du vent, et, avec elle, les dimensions et le rendement des hauts fourneaux.

C'est vers la même époque que l'on commença à faire usage du coke ; sa substitution au charbon de bois fut si rapide en Angleterre que, dès 1788, la presque totalité des hauts fourneaux y étaient alimentés au combustible minéral ; en France, cette substitution ne s'est effectuée que trente à quarante ans plus tard.

En 1828, Beaumont et Neilson essayèrent de chauffer l'air avant de le lancer dans le haut fourneau, et le succès de leur tentative permit de traiter à la houille crue certains minerais, d'ailleurs très-faciles à réduire, comme le blackband d'Écosse ; l'emploi de l'air chaud et l'agrandissement de la cuve des hauts fourneaux fit descendre en Écosse de 7,500 à 2,200 kilogrammes la quantité de charbon, et de 900 à 600 kilogrammes celle de castine nécessaire pour obtenir une tonne de fonte.

La température à laquelle on chauffe le vent varie de 70° à 450°. Quand les minerais sont purs, d'un affinage facile, et destinés à produire de la fonte de forge de qualité supérieure, il est préférable de ne pas trop élever la température du vent ; tel est le cas, par exemple, des fontes lamelleuses (Spiegeleisen), et en particulier celui des fontes de Dannemora, qui sont fabriquées avec de l'air chauffé à 70° seulement ; mais c'est là une limite inférieure, et l'on peut aller sans inconvénient grave à 200°, comme on le fait dans la plupart des forges suédoises.

Quand, au contraire, on veut produire des fontes de moulage ou des fontes siliceuses, on peut chauffer l'air à haute température ; tel est le cas, par exemple, des fontes que l'on destine à être traitées par les méthodes de décarburation rapide (Bessemer).

Les appareils qui servent à chauffer l'air sont généralement composés de tubes en fonte que viennent entourer les flammes produites, soit par un foyer spécial, soit plus habituellement aujourd'hui par la combustion des gaz du haut fourneau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En Angleterre, on a essayé récemment de supprimer l'emploi des tubes métalliques, en adoptant une disposition empruntée aux fours Siemens, et qui consiste à faire passer alternativement l'air et les flammes dans une chambre contenant des briques, qui jouent successivement le rôle de condensateur et celui de répartiteur du calorique.

Utilisation des gaz des hauts fourneaux. — C'est aux ingénieurs français que revient l'honneur d'avoir réussi à utiliser la chaleur que peuvent fournir les gaz, riches en hydrogène et en oxyde de carbone, qui s'échappent du gueulard. Le prix élevé du charbon était en France un stimulant qui manquait à l'Angleterre, et on cherchait plutôt, dans ce dernier pays, à augmenter les dimensions des fours pour réduire la consommation du combustible. Aussi les appareils de prise de gaz appliqués depuis longtemps en France sont-ils appréciés depuis quelques années seulement en Angleterre, où ils rencontrent encore de nombreux adversaires, à cause des inconvénients qui résultent de leur emploi, au point de vue de la régularité de l'allure des hauts fourneaux.

En effet, lorsqu'on jette la charge au milieu du gueulard, les parties fines s'accumulent au centre, y forment un cône d'éboulement naturel, et opposent au mouvement des gaz plus de résistance que les gros fragments de coke et de minerai qui se réunissent le long des parois; si, dans ces conditions, la prise de gaz se fait à la circonférence, il en résulte forcément un dérangement dans l'allure du fourneau, dont la partie centrale n'est presque plus traversée par les gaz.

Divers appareils ont été proposés pour obvier à cet inconvénient, dont la gravité augmente avec la largeur du gueulard. On peut y remédier, soit en faisant la prise de gaz par un tuyau central plongeant plus ou moins dans le lit de fusion, soit en disposant les charges de manière à amener les gaz à traverser le haut fourneau en s'y répandant d'une manière uniforme.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le seul appareil de prise de gaz qui fût à l'Exposition était le modèle du système de chargement et de fermeture du gueulard, adopté par la Compagnie d'Aubin; la prise du gaz y est faite à la circonférence; le chargement s'effectue suivant une zone annulaire, mais une partie du coke est chargée directement au centre du fourneau par une ouverture spéciale. Cette disposition nous paraît satisfaisante; elle doit prévenir avec efficacité l'accumulation du minerai fin au centre, et celle des gros blocs de minerai et de charbon le long des parois; dans ces conditions, le mode de prise des gaz n'a plus que peu d'influence, car la disposition des matières contre-balance l'action de la forme de la cuve, qui offre naturellement un chemin plus facile aux gaz le long de ses parois.

Forme des hauts fourneaux. — La forme de la cuve des hauts fourneaux est l'objet de recherches constantes de la part des maîtres de forges. En France, surtout dans les anciennes forges au bois, on s'attachait à conserver au profil la forme à laquelle l'expérience ou la routine avaient conduit; on s'explique facilement, du reste, la timidité des essais effectués pour modifier la forme des fours, quand on pense aux pertes que peut causer une mauvaise disposition, en altérant l'allure pendant toute une campagne, et aux frais qu'entraîne la reconstruction de la chemise intérieure du haut fourneau et sa mise en feu. En Angleterre, on s'est moins préoccupé d'arrêter aussi strictement la forme de la cuve, et surtout d'en accuser aussi nettement les diverses parties. On a plutôt cherché à en augmenter les dimensions, pour réduire la consommation du combustible et diminuer la main-d'œuvre.

Anciennement, le gueulard était toujours beaucoup plus étroit que le ventre, ce qui rendait le mélange des matières plus intime. On a, dans ces derniers temps, diminué la différence des rayons des deux bases du cône ainsi formé par la partie supérieure du fourneau, et une grande économie de combustible a été la conséquence de cette mo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dification. Mais la difficulté du chargement augmente avec les dimensions que l'on donne au gueulard ; cet inconvénient est devenu plus sérieux encore lorsque, dans le but d'utiliser les gaz, on a fermé la partie supérieure du haut fourneau par un obturateur ; ce n'est que par l'emploi d'appareils spéciaux, du genre de celui dont nous venons de parler, que l'on a pu surmonter cette dernière difficulté.

Les changements apportés aux dimensions des hauts fourneaux et surtout à leur hauteur ont entraîné l'emploi de machines soufflantes plus puissantes ; la pression de l'air a dû être portée jusqu'à 0^m16, et même jusqu'à 0^m21 de mercure. Au delà d'une certaine limite, la difficulté de la conduite d'un haut fourneau coïncide avec la largeur du ventre. Pour atténuer les inconvénients que l'on rencontre en cherchant à augmenter la production, on a proposé de donner à la section transversale du haut fourneau une forme elliptique. Des essais ont été faits dans cette voie aux États-Unis et en Angleterre, par M. Alger ; mais, quels que soient les avantages que peut présenter ce système, les frais qu'entraînerait la transformation des hauts fourneaux circulaires en fourneaux elliptiques n'ont pas pu lui permettre jusqu'à présent de prendre une extension rapide. Il nous semble d'ailleurs difficile de maintenir pendant toute une campagne la forme elliptique du four.

En 1859, le grand haut fourneau de Dowlais, qui cubait 230 mètres cubes et produisait 45 tonnes de fonte par vingt-quatre heures, était supérieur, par ses dimensions, à tous les autres hauts fourneaux du monde. Cette production est atteinte et dépassée aujourd'hui dans beaucoup d'usines, et on est même arrivé à la porter à plus du double dans le pays de Galles.

La forme extérieure du haut fourneau a aussi subi des changements très-considérables ; en 1860, on a commencé, en Angleterre, à supprimer une partie des grands massifs de maçonnerie, dont on entourait les matériaux réfractaires pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

assurer la stabilité du four, et on a remplacé leur action par celle de cercles en fer ou d'armatures en tôle; on a de plus dégagé entièrement les abords du fourneau, en supportant la maçonnerie supérieure par des colonnes en fonte; enfin, on a reconnu que l'on pouvait substituer, dans les creusets, la brique et même le pisé réfractaire au grès et aux autres matériaux naturels, que l'on regardait auparavant comme seuls capables de résister à la haute température de cette partie du fourneau. Tous ces changements rendent la surveillance plus facile, économisent une très-grande place, et donnent à la construction plus d'élégance et de légèreté.

Mentionnons, en terminant, un procédé nouveau proposé par M. Thomas, vers 1861, et appliqué en Hongrie; il consiste à opérer successivement, et dans des fours différents, la réduction et la fusion. Le minerai en roche est calciné au four à manche, étonné et cassé en fragments de 5 à 8 centimètres cubes; il est ensuite réduit dans un fourneau du même genre, traversé par un courant de gaz qui est dirigé en sens inverse du mouvement du minerai. Quand le minerai est en poudre, les deux opérations se font dans un four à réverbère; on ajoute alors une certaine quantité de charbon pour produire la réduction.

La fusion a lieu dans un haut fourneau de forme ordinaire, et la chaux vive est employée comme castine. La consommation de combustible, rapportée à 100 de fonte produite, est donnée par les chiffres suivants :

25 de tourbe pour la calcination du minerai massif.
30 à 40 de lignite pour la réduction de ce même minerai massif.
70 de lignite } pour la calcination et la réduction du minerai
51 de charbon } pulvérulent.
30 à 40 de combustible pour la fusion.

Matières premières. — Avant d'être chargés au haut fourneau, les minerais subissent quelquefois un grillage qui a pour but de les rendre plus perméables aux gaz réduc-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

teurs; cette opération est indispensable quand les minerais sont à l'état de carbonate ou d'oxyde magnétique, et elle a de plus l'avantage de chasser la plus grande partie du soufre qu'ils peuvent contenir. C'est surtout dans ce dernier but qu'elle est adoptée en Suède, où les minerais renferment presque tous des veinules de pyrite. Le grillage y est fait dans un four vertical, chauffé par les gaz du haut fourneau, et est continué jusqu'à ce que les minerais soient complétement peroxydés et désagrégés.

On a cherché, pour faciliter l'emploi des minerais pulvérulents, à les agglutiner et à en former des briquettes. Ce procédé a donné de bons résultats.

Le combustible subit, lui aussi, en général, une opération préliminaire dans laquelle, par une calcination en vase clos, on chasse l'eau et les matières volatiles. Toutefois, cet usage est loin d'être suivi partout, et, dans certains districts, on emploie le combustible à l'état cru, surtout quand il rentre dans la catégorie des houilles maigres ou des anthracites; il semble, au premier abord, que l'on utilise ainsi d'une manière plus complète la chaleur que les charbons sont susceptibles de donner par leur combustion ; mais comme la calcination s'effectue dans la partie supérieure de la cuve, les gaz distillent sans brûler ; de plus, comme les combustibles minéraux contiennent souvent, à l'état de veinules de pyrite, du soufre qui aurait été chassé, au moins en partie, par la calcination, la qualité du produit doit toujours être plus ou moins altérée par l'emploi de la houille crue. Aussi doit-on éviter de recourir à ce procédé, et on peut d'ailleurs remarquer qu'il s'est répandu en Angleterre, seulement dans les districts qui ne disposent, comme l'Écosse, que de charbons maigres impropres à la fabrication du coke. L'anthracite présente au plus haut degré ce dernier inconvénient, et ce n'est que par l'emploi de l'air très-chaud que l'on est arrivé à l'utiliser. Les premiers hauts fourneaux du pays de Galles alimentés avec ce combustible datent de 1840 environ; vers la même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

époque, des essais étaient faits en Pensylvanie, où ce mode de traitement a fait disparaître les fourneaux au charbon de bois; comme l'anthracite se brise sous l'influence de la chaleur en petits fragments, qui se tamisent à travers la masse et peuvent produire des engorgements à la base du fourneau, il est nécessaire de prendre des précautions spéciales pour assurer la régularité de l'allure; l'une d'elles consiste dans la multiplicité des orifices, par lesquels le vent est lancé, de sorte que l'on a été amené à élever le nombre des tuyères à 12 et même à 15.

Pendant longtemps on a regardé l'emploi de tous les combustibles minéraux comme entraînant nécessairement une infériorité notable dans la qualité de la fonte. Cette infériorité existe, il est vrai, d'une manière générale; mais elle tient au degré de pureté du combustible employé, et non à son essence. La houille et le coke donnent, en effet, une proportion de cendres beaucoup plus élevée que le charbon de bois; de plus, il est rare qu'ils ne renferment pas une certaine quantité de pyrites, et, dans ce cas, la calcination ne fait jamais disparaître la totalité du soufre. Enfin, comme l'emploi du coke entraîne, en général, celui de l'air chaud, les fontes obtenues avec ce combustible doivent être plus siliceuses, et, par suite, moins tenaces que les fontes au bois.

Mais si, par un lavage préalable, l'on a soin de débarrasser la houille de la plus grande partie des impuretés qu'elle renferme, et notamment des pyrites, et si l'on amène le coke à n'avoir plus qu'une teneur en cendres égale ou même inférieure à celle du charbon de bois, tous ces inconvénients disparaissent; le coke devient un combustible comparable, supérieur peut-être, à cause de sa plus grande densité, aux combustibles végétaux. Des recherches suivies ont été faites dans cette voie, mais il reste encore d'importants progrès à réaliser; la plupart des usines ont été entraînées dans le mouvement de la grande production, et celles qui se sont attachées à donner à leur combustible, par des lavages, une pureté proportionnée

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à celle de leurs minerais, ne sont encore malheureusement que des exceptions ne réalisant qu'imparfaitement le programme dont nous avons parlé.

Mentionnons, en terminant, les essais qui ont été faits pour employer la tourbe dans les hauts fourneaux; la tourbe est préalablement calcinée dans un four spécial, à vent forcé, sous une pression de 30 centimètres d'eau environ; on ne fait passer sur la masse qu'un cinquième de l'air nécessaire à la combustion complète, et les gaz sont utilisés pour le rechauffage des massiaux de fer brut; d'ailleurs, le charbon de tourbe est très-calcaire, et l'abondance des cendres qu'il produit permet de diminuer notablement la proportion de castine.

Divers essais ont été faits, depuis 1840, pour employer comme castine la chaux vive au lieu du carbonate de chaux; mais on n'est pas encore bien fixé sur l'économie que donne cette substitution; à Ougrée, près Liége, on avait trouvé une économie de 9.6 pour 100 sur le coke, avec un accroissement de 23 pour 100 dans la production; mais, dans les autres usines, les avantages ont été bien plus faibles, et même souvent à peine sensibles.

Utilisation des scories de forges. —Le puddlage produit chaque jour, dans les usines à fer, des quantités considérables de scories, qui sont des silicates très-riches en fer, et dont la réduction serait très-avantageuse, puisqu'on peut les considérer comme un minerai presque sans valeur commerciale. Mais leur introduction en grande quantité dans le lit de fusion donne toujours des résultats déplorables, parce que le puddlage qui les a produites a précisément pour but de concentrer dans ces scories toutes les impuretés de la fonte. Il en résulte une véritable accumulation de ces impuretés dans le lit de fusion, et, par suite, dans les fontes, dont l'affinage devient plus difficile.

On a obtenu d'excellents résultats en formant des briquettes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

composées de chaux et de scories; mais l'élévation des frais de main-d'œuvre, qui montaient à 5 francs environ par tonne, a fait renoncer généralement à l'emploi de ce procédé.

M. Minary, directeur de l'usine de Casamène, près Besançon, a proposé de mélanger les scories avec de la houille, de manière à produire, par la calcination, ce qu'il appelle le coke-scorie. Des expériences faites par cet ingénieur ont montré que l'oxyde de fer des silicates peut être complétement réduit par l'action des gaz produits par la combustion de la houille, sans que la silice le soit elle-même, pourvu qu'on ait soin de maintenir la température assez basse pour empêcher la fusion du silicate.

D'après M. Minary, ce procédé donne un résultat plus inattendu encore : la fixation, pendant la calcination, d'une partie du carbone des gaz hydrocarburés, dont l'hydrogène se combine à l'oxygène du fer, de telle sorte que la présence des scories a pour effet d'augmenter le rendement en coke. Enfin, le phosphore et le soufre se dégagent en grande partie à l'état d'hydrogène phosphoré et sulfuré, et, par conséquent, le principal inconvénient qu'entraîne l'emploi des scories, en ramenant constamment au haut fourneau les impuretés de la fonte, est supprimé ou tout au moins atténué.

Nous pouvons ajouter que le procédé de M. Minary a été appliqué en France, et qu'il a donné de bons résultats; on a évalué à 6 francs par tonne de fonte l'économie qu'il peut donner sur le prix de revient.

Nature des fontes. — Les fontes se divisent, suivant leur destination, en deux classes distinctes : les fontes de moulage, et les fontes d'affinage.

Les premières subissent souvent, avant d'être introduites dans les moules, une deuxième fusion dans un cubilot, et l'on soumet quelquefois aussi à cette opération les fontes d'affinage auxquelles on veut communiquer des qualités spéciales. C'est ainsi que l'on a cherché à incorporer dans les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

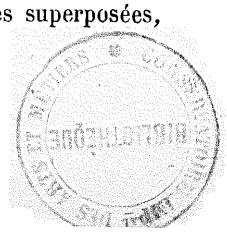
fontes le tungstène, dont la présence augmente la ténacité du produit, et qui est même regardé, dans certaines parties de l'Allemagne, comme nécessaire à la constitution des aciers de première qualité.

On doit à M. Lequen des expériences suivies sur l'emploi du wolfram. Son procédé consiste à faire des briquettes avec du wolfram pulvérisé délayé dans de la chaux, et à les charger, dans un cubilot, en couches alternatives, avec le coke et la fonte. On peut arriver ainsi à incorporer facilement 8 à 10 pour 100 de tungstène dans les fontes, tandis qu'au réverbère, avec la même quantité de wolfram, il n'y en a que 3 à 5 pour 100 d'absorbé. Du reste, l'expérience a montré que c'était la proportion de 5 pour 100 qui donnait le plus de ténacité au produit, la résistance de ce dernier à la traction étant alors presque doublée.

Des fontes contenant cette proportion de tungstène ont été essayées à l'usine d'Imphy, pour remplacer le spiegeleisen, que l'on introduit dans le convertisseur Bessemer à la fin de l'opération. On a obtenu ainsi un métal renfermant 1 et 1/2 pour 100 de tungstène, qui a été transformé en rails. L'un d'eux, soumis au choc d'un mouton de 300 kilogrammes, tombant successivement des hauteurs suivantes : 1 mètre, 2 mètres, 2^{m} 50, 3 mètres et 4 mètres, présenta des flèches successives de 2, 6, 12, 18 et 26 millimètres, puis se rompit sous le choc suivant.

Ces résultats sont extrêmement favorables et expliquent la vogue dont jouissent les aciers au tungstène (wolfram stahl) en Autriche, spécialement pour les outils fins, tels que couteaux, rasoirs, etc.; mais la cherté du wolfram et le surcroît de frais qu'il entraîne, limitent son emploi dans les fonderies.

Citons encore les essais entrepris pour augmenter la puissance des cubilots, en accroissant le nombre des tuyères; celles-ci sont alors disposées sur deux rangées superposées,



Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et lancent le vent dans des directions divergentes à l'intérieur du cubilot.

Moulage. — Les procédés du moulage ont subi dans ces derniers temps de grands perfectionnements.

Pour obtenir un moule, le procédé le plus simple consiste à placer sur une planche le modèle et un châssis à fouler le sable entre ces deux pièces, puis à retourner le châssis et à retirer le modèle, qui doit par conséquent présenter une certaine dépouille. Pour faciliter cette opération, M. Oward de Bradford a eu l'idée de remplacer la planche pleine par une planche composée d'une partie fixe et d'une partie mobile qui a exactement la forme de la section plane du modèle, et sur laquelle ce dernier vient s'adapter. Un levier ou une vis permet, lorsque le moulage est terminé, de faire descendre le modèle, pendant que le sable est maintenu par la planche fixe, sur laquelle il trouve un point d'appui.

Le grand développement qu'ont pris les distributions d'eau et de gaz dans toutes les villes a nécessité la fabrication de quantités considérables de tuyaux en fonte. On a cherché à simplifier le moulage de ces pièces, qui, faites en grand nombre sur un même modèle, se prêtent tout particulièrement à l'application de procédés mécaniques. Pour atteindre ce but, plusieurs méthodes ont été essayées, parmi lesquelles nous citerons le pilonnage du sable dans un moule cylindrique vertical avec noyau mobile en métal, et l'emploi d'une hélice saillante à laquelle on fait parcourir successivement toutes les parties du tuyau. Quant au séchage, il s'effectue en installant un foyer spécial au-dessous du moule, qui sert alors de cheminée pour les gaz de la combustion.

Ces procédés ont été appliqués, avec de notables perfectionnements, dans la grande fonderie de Torteron, appartenant à la Société de Fourchambault et Commentry, et adoptés plus tard en France par plusieurs grandes fonderies; les moules sont placés, dans une fosse, sur un ou plusieurs cercles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

concentriques, dont le centre est occupé par le pivot d'une grue qui sert à la fois à la pose des noyaux, à la manœuvre de la poche contenant la fonte, et à l'enlèvement des tuyaux moulés. Un foyer très-simple, adapté à la partie inférieure du moule, produit le séchage. Les noyaux sont préparés sur des sortes de tours, et séchés à l'étuve sur des chariots disposés de manière à utiliser le mieux possible la capacité du four de séchage.

Le moulage des pièces délicates a également fait des progrès, mais nous n'avons aucune grande innovation à citer dans ce genre de fabrication, qui échappe un peu par sa nature aux grands changements.

On a souvent besoin dans l'industrie d'obtenir par le moulage des pièces inégalement dures dans leurs différentes parties ; ainsi la table des cylindres de laminoirs doit présenter une grande résistance à la déformation ; les tourillons, au contraire, demandent de la ténacité et de la douceur.

Le moulage en coquille ne permet d'obtenir ces résultats que d'une manière assez imparfaite, à cause de l'homogénéité de la masse et de la petite profondeur à laquelle la paroi du moule fait sentir son action.

M. Gueunier-Lauriac a eu l'idée de profiter de la différence de température qui existe entre les points de fusion des fontes blanches et grises, pour résoudre ce problème d'une manière plus complète. Quand, par exemple, il s'agit d'un laminoir, il coule d'abord un cylindre annulaire en fonte blanche très-dure ; dès que la matière a pris une consistance suffisante, il enlève le noyau et porte ce cylindre sur un nouveau châssis.

L'opération peut être conduite assez rapidement pour que, au moment où l'on coule dans ce nouveau moule la fonte grise qui formera le centre et les tourillons du laminoir, la fonte blanche possède encore une température égale à celle de fusion de la fonte grise. Il est indispensable qu'il en soit ainsi pour que les deux parties du cylindre soient intimement liées l'une à l'autre. Ce procédé est ingénieux, et s'il est con-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sacré par l'expérience, il pourra rendre de grands services à l'industrie.

La fonte se prête admirablement au moulage, mais elle est dure et cassante ; ce n'est donc que par un travail long et difficile que l'on peut modifier la forme du produit obtenu, et celui-ci, quand il est de petites dimensions, conserve beaucoup de fragilité. On a donc dû chercher de bonne heure à dénaturer la fonte moulée sans altérer sa forme, et de manière à profiter des avantages du moulage. C'est à Réaumur que paraissent dus, vers 1722, les premiers essais ; il opérait en calcinant la fonte avec de la craie et du charbon ; mais c'est au commencement de ce siècle que Samuel Lucas inventa en Angleterre le procédé de cémentation tel qu'il est encore employé aujourd'hui. Il chauffait la fonte en présence de l'oxyde de fer pendant cinq à six jours.

On a cherché à obtenir plus de perfection dans le produit, plus de régularité dans les résultats, mais sans rien changer d'essentiel au procédé. Ainsi, par exemple, on a proposé d'ajouter à la fonte une petite quantité de cuivre pour donner plus de délicatesse au moulage.

Une modification plus essentielle au point de vue économique a été proposée : l'oxyde de fer a été remplacé en Angleterre par la calamine et par l'oxyde de zinc, et, en Amérique, par la brucite, oxyde complexe de fer, de zinc et de manganèse ; on obtient, comme résidu de l'opération, du zinc métallique, dont la valeur compense une partie des frais ; ce procédé suppose évidemment que l'on peut se procurer de l'oxyde de zinc naturel à bas prix, comme cela a lieu, par exemple, en Amérique, dans l'État de New-Jersey.

§ 2. — Fer.

Affinage au bas foyer. — La substitution du haut fourneau aux foyers catalans et la fabrication de la fonte ont entraîné la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

création de méthodes spéciales pour l'affinage de ce produit et sa transformation en fer. Tant que l'on s'est servi comme combustible du seul charbon de bois, cette opération s'est effectuée au bas foyer, et par des procédés d'affinage qui peuvent se grouper autour de quatre types principaux, connus sous les noms de *méthodes allemande*, *franc-comtoise*, *wallonne* et du *Lancashire*. Elles sont pratiquées encore concurremment en Suède, mais les deux premières n'ont plus aujourd'hui dans ce pays qu'une importance secondaire.

En Suède, les fers affinés par la méthode du Lancashire se distinguent par la grande égalité de leur grain; un soin extrême est apporté à leur fabrication, et cela tient en partie à ce que l'affinage et le réchauffage des lopins sont faits dans des foyers et par des ouvriers différents, qui se contrôlent les uns les autres. Dans le même pays, la méthode wallonne ne s'applique guère qu'aux minerais du district de Dannemora, et donne, à des conditions un peu plus onéreuses, il est vrai, des fers de qualité supérieure, qui ont généralement un grain fin et inégal, dû au mélange de parties plus dures avec d'autres plus tendres. Ils présentent une ductilité, une ténacité et une résistance supérieures à celles de tous les autres fers. Ils se comportent au feu comme les fers les plus doux, et l'inégalité de leur grain ne présente aucun inconvénient, puisque leur transformation en aciers cémentés et fondus la fait disparaître complétement du produit final.

L'affinage au bas foyer tend du reste à disparaître devant les nouveaux procédés d'élaboration du fer; on peut déjà prévoir le temps où il ne sera plus usité que dans un petit nombre de localités isolées, ou pour la fabrication de quelques produits spéciaux.

Puddlage. — Les méthodes que nous venons de citer ont pour caractère commun de donner des fers de bonne qualité, mais d'un prix toujours fort élevé, et elles supposent essentiellement l'emploi du charbon de bois. Aussi on a dû se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

préoccuper de les transformer, à mesure que le bois est devenu plus rare, et que l'on a été amené à lui substituer le combustible minéral.

Cette substitution, entreprise avec succès dès 1740 pour les hauts fourneaux, fut l'objet de longues et nombreuses tentatives, avant de pouvoir être appliquée aux méthodes d'affinage ; ce n'est qu'en 1783 que Cort l'effectua définitivement par la substitution du four à réverbère au bas foyer. La nouvelle méthode a reçu le nom de *puddlage,* et son introduction dans la métallurgie inaugure l'ère actuelle de la fabrication du fer.

Le puddlage à la houille ou à l'anthracite est la seule méthode d'affinage actuellement pratiquée en Angleterre et en Ecosse; mais les bas foyers ont disparu moins rapidement sur le continent, où ils existent encore en assez grand nombre.

Lorsque les fontes sont impures, le puddlage est quelquefois précédé du mazéage, qui a pour but de soumettre la fonte en fusion à l'action de l'air et à celle de matières riches en oxygène, telles que les scories et les battitures. Le graphite, le phosphore, le soufre et le silicium sont en partie éliminés dans ce grillage, qui, arrêté à temps, n'altère pas la proportion du carbone combiné et peut même l'augmenter.

Le puddlage sec pour les fontes mazées remonte au siècle dernier ; le puddlage gras des fontes brutes ou des fontes mazées encore très-carburées s'est répandu depuis 1830; et on l'applique surtout quand on veut obtenir des fers de bonne qualité ou de l'acier.

Utilisation de divers combustibles. — La consommation de combustible dans le puddlage est toujours considérable ; les maîtres de forges ont donc grand intérêt à pouvoir utiliser, pour cette opération et pour le réchauffage des massiaux, les combustibles les plus économiques ; aussi de grands efforts ont-ils été faits dans cette voie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En Angleterre, on a cherché à brûler l'anthracite sur les grilles des fours à réverbère, et on y est arrivé en facilitant la formation d'une grille artificielle. Dans les pays où le lignite et la tourbe sont abondants, on est de même arrivé à utiliser ces combustibles, en transformant le foyer en un véritable générateur à gaz dont les produits sont brûlés sur la sole. Enfin, comme la carbonisation du bois en forêt donne un très-faible rendement et un déchet considérable, on a été conduit, dans des pays éloignés des gisements houillers, à adopter, pour les foyers, des dispositions spéciales permettant de brûler le bois en nature. C'est ce qui a lieu en Suède et en Norwége, et notamment dans les usines de Fritzö et de Garpenberg, où le bois, préalablement desséché et torréfié dans de vastes étuves, est brûlé dans un four à courant d'air forcé.

En France, l'usine d'Allevard a adopté, pour le puddlage de ses fontes, le système Carinthien, auquel elle a apporté diverses améliorations combinées pour mieux utiliser les longues flammes du bois et pour faciliter le travail des ouvriers.

On a fait un pas de plus encore en Suède, en réussissant à utiliser la sciure de bois que produisent, en très-grandes quantités, les nombreuses scieries établies au milieu des forêts.

Les fours établis pour cet usage en 1843 par M. Eckmann forment de véritables générateurs à gaz, et servent le plus souvent au réchauffage des lopins. Pour le puddlage, on brûle, dans les mêmes fours, le bois desséché à l'air libre ou torréfié dans des étuves.

Le plus grand progrès effectué dans ces dernières années est celui que M. Siemens a réalisé par l'invention de son four à gaz et à chaleur régénérée ; ce système étant examiné dans un autre rapport avec tout le soin qu'il mérite, nous nous contenterons de rappeler les principaux avantages qu'il présente. Il permet de produire à volonté une flamme oxydante ou réductrice, de régler très-facilement l'intensité de la chaleur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et de la porter au degré le plus élevé exigé par les opérations métallurgiques. Il procure une économie notable sur la consommation du combustible, qui peut en outre être pris de qualité inférieure, et sur l'entretien des creusets, des mouffles et des fours eux-mêmes, à cause de la pureté des flammes, qui ne peuvent entraîner de cendres.

Utilisation des chaleurs perdues. — Un autre progrès important, au point de vue de l'économie des combustibles, est l'utilisation des chaleurs perdues. Au lieu d'être conduites directement à la cheminée, les flammes circulent aujourd'hui, dans un grand nombre d'usines, à travers les carneaux de chaudières à vapeur placées à la suite des fours.

La substitution de chaudières verticales aux anciennes chaudières horizontales a beaucoup contribué à faciliter l'application de ce système aux fours à puddler, parce que la résistance qu'éprouve le mouvement des gaz avec ces générateurs est assez faible pour permettre de régler convenablement le tirage suivant les exigences du travail.

Puddlage mécanique. — Le travail de l'affinage dans le four à puddler exige chez l'ouvrier de l'adresse et une grande force physique. La main-d'œuvre est par suite assez chère, et, bien que le nombre des bons puddleurs ne soit plus aussi restreint qu'autrefois, les maîtres de forges sont obligés de subir, dans une certaine mesure, les exigences de ces ouvriers, dont le travail demande un assez long apprentissage, et de l'habileté desquels dépend tout le succès de l'affinage. Pour remédier à cet état de choses, on a cherché, dans ces derniers temps surtout, à diminuer le rôle de l'ouvrier dans le puddlage, et à faire mécaniquement le brassage des matières. Deux moyens se présentent pour arriver à ce résultat : employer un four mobile et un outil fixe, ou un outil mobile et un four fixe.

De nombreux essais du premier de ces deux systèmes on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

été faits en Angleterre ; mais les appareils plus ou moins ingénieux dans lesquels le brassage s'effectue par le mouvement même de la sole inclinée sur son axe de rotation d'un angle de 100° environ ne se sont guère répandus jusqu'à présent, sans doute à cause de leur grande complication et de la force motrice trop considérable qu'exige leur emploi.

Les systèmes à sole fixe et à outil mobile nous semblent plus susceptibles de donner des résultats pratiques ; nous citerons notamment celui de MM. Dumeril et Lemut, employé d'abord à la forge du Clos-de-Mortier (Haute-Marne). Cet appareil opère un brassage mécanique et dispense l'ouvrier de la partie la plus fatigante du travail. Un système de leviers imprime au ringard une série de mouvements qui lui font successivement parcourir toutes les parties de la sole. Le système de MM. Dumeril et Lemut paraît appelé à donner de bons résultats; il est simple, peu coûteux, et ne gêne en aucune façon l'ouvrier. Si ce dernier, à cause du défaut de force motrice ou pour tout autre motif, veut travailler lui-même la fonte, il n'a qu'à écarter les balanciers qui saisissent l'outil, et à désembrayer la poulie motrice. Entre autres avantages, le puddleur mécanique possède celui de permettre d'opérer le brassage dans des fours de grandes dimensions, puisqu'on cesse d'être limité pour le travail à la somme d'efforts dont un homme est capable ; l'un des résultats de l'emploi de ce système doit être par conséquent de diminuer la consommation de combustible. Enfin, il est une autre considération qui doit faire attacher la plus grande importance à son introduction dans la métallurgie. Les ouvriers puddleurs sont astreints à des travaux très-rudes et ne peuvent continuer leur métier pendant plus de quinze à vingt ans. En diminuant leur fatigue, on les mettrait à même de le continuer plus longtemps, et on obtiendrait sans doute de très-bons résultats hygiéniques.

Méthodes d'affinage rapide. — Les difficultés que présente le puddlage, les frais qu'il entraîne en main-d'œuvre et en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

combustible ont fait chercher le moyen d'obtenir le fer d'une manière directe, sans renoncer à le produire par grandes quantités.

On a eu l'idée de pulvériser la fonte et de la mouler après l'avoir humectée; exposée à l'air, la fonte s'oxyde partiellement et prend corps; on réchauffe les masses ainsi obtenues dans un four à flamme oxydante; le fer prend nature, et il est soumis à une série de réchauffages et de cinglages qui en soudent toutes les parties et lui donnent l'homogénéité nécessaire.

En Suède, on emploie dans quelques usines divers procédés qui se rattachent au précédent, et qui consistent à fondre dans des creusets la fonte mêlée, soit avec du minerai de fer et du charbon, soit avec du fer forgé.

Procédé Bessemer. — Le type des méthodes d'élaboration rapide de la fonte est le procédé Bessemer, qui seul a eu une grande portée industrielle. Comme le but de son emploi est plus spécialement la production de l'acier, dont l'étude fait l'objet d'un rapport spécial, nous nous contenterons de rappeler ici ce que nous avons dit plus haut de ce procédé, et, en général, de toutes les méthodes analogues; elles décarburent la fonte sans faire disparaître les corps, tels que le soufre et le phosphore, qui en altèrent les qualités; elles exigent donc essentiellement l'emploi de fontes pures et aciéreuses; et les produits qu'elles donnent, fers et aciers, ne possèdent jamais un ensemble de qualités en rapport avec la pureté des matières premières qui ont servi à leur fabrication.

On a essayé, dans ces derniers temps, de soumettre les fontes à une épuration préalable dans les districts où les minerais sont trop impurs pour donner des fontes susceptibles d'être soumises à une simple décarburation. Le procédé appliqué dans l'usine d'Ebb wales, située dans le sud du pays de Galles, consiste à débarrasser, par le puddlage, les fontes de la plus grande partie de leurs impuretés, à les recarburer dans un cubilot, et à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

verser directement le produit de cette opération dans un convertisseur Bessemer. Pour que l'opération réussisse, il faut ajouter de 30 à 50 pour 100 de fonte lamelleuse pure. Ce procédé, qui permet de produire, avec des matières premières inférieures et à un prix relativement peu élevé, un métal fondu de qualité moyenne, nous paraît constituer au moins une tentative digne d'intérêt, et peut-être y trouvera-t-on, si on parvient à réduire la proportion de spiegeleisen actuellement nécessaire, un palliatif salutaire à la prodigalité excessive avec laquelle on dispose aujourd'hui des minerais de qualité supérieure.

Métal homogène. — M. Émile Martin a cherché à obtenir, soit de l'acier, soit un métal fondu qu'il appelle *métal homogène*, en oxydant la fonte par l'action de minerais très-riches, sous une couche de laitiers. Ce métal peut être coulé, et les réactions qui produisent le départ plus ou moins complet du carbone et du silicium paraissent plus faciles à diriger que dans l'appareil Bessemer.

Appareils servant au travail mécanique du fer. — A mesure que les usages du fer se sont étendus, on s'est attaché à profiter de sa malléabilité pour mieux approprier sa forme aux divers usages auxquels il est destiné ; mais, à chaque victoire remportée sur les difficultés d'exécution, l'industrie répondait par de nouvelles exigences et demandait, au double point de vue des profils et des dimensions des produits, de nouveaux perfectionnements. On a été ainsi amené à faire des tôles laminées et des pièces de forge de dimensions colossales et offrant en même temps les formes les plus compliquées. Nous citerons, comme exemple, les grands fers à double T pour les travaux d'art, les canons en fonte de la marine, les étambots de navires, et surtout les plaques de blindage des bâtiments cuirassés.

La fabrication de ces pièces a nécessité la transformation complète de l'outillage, dont la puissance a dû être propor-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tionnée aux dimensions de ces gigantesques produits. Outre les appareils qui servent à la manœuvre et au réchauffage de ces masses de fer, et qui ne sont en quelque sorte que les modèles exagérés des anciens appareils, on a été obligé de créer des engins nouveaux pour le laminage et le martelage. Le laminoir muni de cylindres à axes verticaux entre lesquels passe la tôle à la sortie des cylindres horizontaux, et qui est connu sous le nom de *laminoir universel*, peut être considéré comme le plus grand progrès fait dans cette voie. Il a permis la fabrication de tôles limitées, au sortir même du laminoir, par des arêtes rectilignes, et aujourd'hui on obtient ainsi, en fabrication courante, des blindages dont l'épaisseur atteint et dépasse même 0^m20 et dont le poids s'élève à 10 et 15,000 kilogrammes.

De même, le laminoir employé par la maison Petin et Gaudet permet de produire des fers à double T, dont la branche verticale dépasse 1 mètre et dont les nervures n'ont pas moins de 0^m30 et même 0^m40 de largeur.

Enfin, avec les laminoirs coniques de l'usine de la Providence, on a réussi à exécuter, pour wagons de chemins de fer, des roues pleines dont la section, par un plan passant par l'axe, présente une forme ondulée destinée à augmenter la résistance de la tôle.

Pour résumer ce qui précède, nous pouvons dire que la tendance de l'industrie métallurgique est aujourd'hui de chercher à restreindre la consommation du combustible, à utiliser le plus complétement possible celui qui est employé, à substituer les machines à l'ouvrier pour toutes les opérations qui exigent un grand déploiement de force, enfin à simplifier les opérations métallurgiques, de manière à passer le plus directement possible du minerai au produit final.

Cette dernière préoccupation est une conséquence immédiate du mouvement qui entraîne la métallurgie dans le sens de la grande production; elle a donné naissance aux méthodes de fabrication rapide, et ne cessera d'être un danger

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour l'avenir de la métallurgie, que le jour où de nouveaux perfectionnements affranchiront ces méthodes de l'obligation d'employer des matières premières de qualité exceptionnelle, et permettront de réserver ces substances pour la fabrication des produits supérieurs.

CHAPITRE III.

PRODUITS.

Les produits exposés sont loin de pouvoir donner, soit par leur nombre, soit par leur nature, une idée de l'importance de la métallurgie du fer. Cette observation, vraie surtout pour les pays étrangers, peut, dans une plus faible mesure, s'appliquer à la France elle-même. On comprend, en effet, que la cassure d'une barre de fer, quelques spécimens très-soignés, des pièces d'une forme ou d'une dimension extraordinaires, qui constituent ce que l'on peut appeler des tours de force de l'industrie, ne peuvent pas indiquer avec précision la nature de la fabrication courante d'une usine. Ils peuvent moins encore servir à classer, d'après leur mérite relatif, les différents établissements métallurgiques, dont la valeur ne se révèle que par l'usage et l'expérience journalière des produits qu'ils livrent au commerce. On ne doit donc attribuer en général qu'une importance secondaire aux objets exposés, d'autant plus qu'il est toujours difficile d'en connaître avec exactitude le prix de revient, et même parfois le mode d'élaboration.

Aussi, sans nous arrêter à un examen détaillé de ces objets, nous nous contenterons de parler des forges les plus importantes de chaque pays, et d'indiquer la nature des produits dans lesquels elles excellent; puis nous réunirons dans des tableaux les principaux éléments de la statistique de l'industrie métallurgique, à l'époque actuelle et à diverses épo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ques antérieures, de manière à donner une idée précise des progrès effectués pendant ces dernières années.

§ 1. — France.

La France est un des pays où la métallurgie du fer présente encore les caractères les plus divers; le minerai y forme de nombreux gisements distribués sur presque toute sa surface, et le fer est d'un usage trop général pour qu'on n'ait pas cherché à l'obtenir partout où l'on rencontrait les éléments de sa fabrication; aussi les anciennes petites forges au bois étaient-elles dispersées sur presque tous les points de la France; malgré les changements qui se sont produits dans les conditions économiques, les forges sont restées très-nombreuses; les unes ont continué à employer le charbon végétal, les autres, placées ou créées à proximité des bassins houillers, ont adopté le procédé anglais de traitement au combustible minéral.

La *Société anonyme des mines et fonderies du Creusot* offre, dans ses vastes ateliers groupés dans une seule et gigantesque usine, un des plus puissants établissements métallurgiques du monde entier. Elle fabrique annuellement plus de 100,000 tonnes de rails, auxquels il faut ajouter des fers, des tôles, des machines de toute nature, et plus spécialement des locomotives et des machines pour la marine.

L'exposition du Creusot présente un caractère tout particulier, et donne une idée très-exacte des principes sur lesquels est basée sa fabrication. On est frappé du soin avec lequel les minerais et les produits exposés sont divisés et classés; ces classements méthodiques ont d'autant plus d'intérêt qu'ils sont réalisés sur une plus vaste échelle dans les usines elles-mêmes.

Persuadée que la constance et la régularité des produits sont au nombre des conditions les plus importantes d'une bonne fabrication, la direction du Creusot a choisi comme éléments

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de sa fabrication les produits de gisements caractérisés par leur régularité et leur abondance, tels que les fers oligistes de l'île d'Elbe, les hématites de Mazenay et du Berri, enfin les minerais magnétiques de Mokta-el-Hadid, en Algérie. Elle s'est assuré d'ailleurs, par des marchés à long terme, la libre disposition des produits de tous ces gisements.

Elle a cherché, en même temps, à déterminer les qualités qui distinguent les différents fers correspondant à la plus grande consommation industrielle.

Pour les fers supérieurs, on a trouvé que l'égalité de résistance à chaud et à froid était la condition fondamentale de la bonne qualité, et que la meilleure mesure de cette résistance était le rapport de la section primitive à la section de rupture par traction. Le métal, remplissant le mieux ces conditions, a été pris pour type des fers supérieurs, et on s'est attaché à obtenir un produit qui en approchât le plus possible. Quant aux autres fers, on a établi, en partant des mêmes principes, une échelle de types de qualités décroissantes, et l'on a choisi, pour en faire l'objet d'une fabrication régulière, ceux d'entre ces types dont les matières premières employées permettaient la production facile et économique. Des essais chimiques, exécutés dans un laboratoire installé sur une grande échelle, et des expériences pratiques faites journellement dans les ateliers, fournissent, par la comparaison de leurs résultats, un contrôle sérieux des procédés de fabrication, et permettent de maintenir la nature des produits aussi régulière et aussi voisine que possible de celle des types adoptés.

Nous croyons inutile de présenter ici un tableau détaillé du système de classement adopté au Creusot. Nous dirons seulement que les fontes et les fers sont divisés en sept catégories qui comprennent tous les produits utilisés par l'industrie, depuis les fontes et fers à rails jusqu'aux fers supérieurs pour tôles minces.

Il est à peine nécessaire de rappeler que c'est à la haute intelligence, aux efforts persévérants et à l'initiative puissante

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de M. Schneider que le Creusot doit son développement et sa prospérité.

Nous n'avons pas à parler ici des importantes forges de *MM. Petin et Gaudet*. Comme le principal objet de leur fabrication est l'acier, elles rentrent dans le cadre d'un autre rapport, où elles sont examinées avec tous les développements qu'elles comportent.

La *Société des forges de Châtillon et Commentry* comprend plusieurs usines situées dans la Côte-d'Or, l'Yonne, l'Aube, la Haute-Marne, le Cher et l'Allier. Les fers laminés et tréfilés, les fers blancs et les pointes de Paris, forment les principaux éléments de sa fabrication. Parmi les produits exposés, on pouvait remarquer un fer à double T de 34 mètres de longueur sur 22 centimètres de hauteur, et une pièce de rond à tréfiler de 7 millimètres de diamètre et 402 mètres de longueur, pesant 125 kilogrammes. Ces deux pièces constituent évidemment des tours de force, et ils n'ont d'autre but que de montrer les résultats que les matières premières employées et les procédés suivis dans leur élaboration sont susceptibles de donner. La Société de Commentry, tout en adoptant, pour une grande partie de sa fabrication, la fonte au coke et le travail à la houille, continue à faire dans plusieurs de ses usines de la fonte et des fers au bois; une partie de ces fontes est transformée dans les forges de la marine en chaînes, câbles, etc.; le reste est utilisé pour la fabrication des pointes et des tôles minces. Comme preuve de l'excellence de ces produits au bois, nous citerons une tôle exposée de 3 mètres sur 1 mètre, et de 12 centièmes de millimètre d'épaisseur.

Depuis peu de temps la Société de Commentry a commencé à faire les plaques de blindage ; elle a envoyé à l'Exposition deux pièces de ce genre ayant l'une $4^{m}62 \times 0^{m}90 \times 0^{m}20$, et pesant 6,500 kilogrammes, et l'autre de $2^{m}00 \times 0^{m}80 \times 0^{m}15$ pesant 1,920 kilogrammes; cette dernière plaque a été essayée à Vincennes, et la manière dont elle s'est comportée à l'é-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

preuve montre sa bonne qualité. Comme produit nouveau, nous citerons les feuillards gironnés que la Société de Châtillon et Commentry est encore seule à fabriquer en France. Ces feuillards, laminés excentriquement, servent à cercler les tonneaux, sur lesquels leur forme légèrement conique leur permet de s'adapter exactement sans qu'on soit obligé de leur faire subir aucune déformation.

Les usines de *MM. Dietrich et C^ie^*, près *Niederbronn* (Bas-Rhin), comprennent toutes les élaborations de la fonte et du fer, depuis l'extraction des minerais jusqu'à la construction des organes de machines et du matériel de chemins de fer. Les minerais employés sont des hématites et du fer carbonaté spathique; ils proviennent de minières appartenant en grande partie à ces maîtres de forges, et situées en Alsace et dans la Prusse rhénane.

Parmi les produits exposés par MM. Dietrich et C^ie^, nous citerons: les bandages de roues à soudures croisées, d'après le système, justement apprécié, que ces maîtres de forges emploient depuis longtemps; les fontes émaillées de l'usine de Zinswiller, et des plaques en fonte au bois, dont l'épaisseur est très-petite, eu égard à leurs dimensions transversales ($3^m \times 0^m60 \times 0^m003$); ces plaques sont coulées avec une fonte tellement douce qu'on peut les ployer très-notablement sans les rompre.

La diversité des produits en fontes, fers et aciers et leur qualité supérieure caractérisent les établissements de MM. Dietrich, et justifient la bonne réputation dont ils jouissent dans l'industrie depuis de si longues années.

La *Compagnie des forges d'Audincourt*, fondée en 1824, possède plusieurs usines situées dans les départements du Doubs, du Haut-Rhin, de la Haute-Savoie et de la Seine.

Autrefois, elle maintenait en activité un nombre de hauts fourneaux au bois suffisant pour alimenter ses feux d'affinerie; mais elle a beaucoup restreint aujourd'hui sa fabrication de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fonte, et réduit à deux les hauts fourneaux en activité. Elle trouve plus d'avantages à acheter des fontes au bois de la Haute-Marne et des fontes au coke de la Loire, à cause du bas prix auquel elle peut obtenir ces produits. Elle fait, en même temps, un bénéfice sur le bois qu'elle est obligée d'acheter; car, en restreignant la consommation locale de ce combustible, elle en diminue la valeur dans une certaine mesure. Les fontes de la Loire sont, d'ailleurs, réservées pour la fabrication des produits de deuxième marque; les tôles fines et les fils de fer, dont la supériorité a créé et soutenu jusqu'à ce jour la réputation des forges d'Audincourt, sont au contraire fabriqués exclusivement avec des fontes et des fers au bois.

Parmi les produits exposés, on remarquait : une caisse de 300 feuilles de tôle qui avaient $0^{m}31$ sur $0^{m}24$, et une épaisseur de six centièmes de millimètre; une feuille de 1 mètre sur 2 mètres, ayant un quart de millimètre d'épaisseur; enfin des fers battus, emboutis dans les ateliers de M. Jappy. Les fers battus et la fabrication du fer-blanc, dont l'étamage s'effectue par le nouveau procédé de M. Girard, constituent les principales applications de ces tôles.

La production totale de ces forges, dont la plus importante est celle d'Audincourt, s'élève à environ 10,000 tonnes, qui se partagent à peu près également entre les trois groupes de produits de ces établissements, fontes, fers et tôles.

La *Société des forges de la Franche-Comté* (*Ménans et C^ie*), à *Fraisans*, maintient en activité cinq hauts fourneaux au charbon de bois et trente-cinq feux d'affinerie. Les produits de la fabrication sont : le matériel fixe des chemins de fer, les tôles fines, les pointes de Paris et les fils pour les câbles et pour la télégraphie aérienne et sous-marine.

Ce sont les forges de la Franche-Comté qui ont fourni la partie du câble transatlantique destinée à être immergée dans les plus grandes profondeurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La *Société de Montataire* comprend les hauts fourneaux d'*Outreau*, alimentés par les minerais crétacés du Boulonnais, et les forges de *Montataire* (Oise). Ce dernier établissement a été installé spécialement pour la fabrication des tôles, dont il produit environ 15,000 tonnes par an. Outre les tôles planes et les tôles ondulées pour toitures, Montataire fabrique des bandages de roues laminés, sans soudure, et diverses variétés de fers spéciaux.

C'est dans cette usine qu'ont été faits les essais pour la transformation directe de la fonte en acier par le procédé de M. Bérard.

Les établissements de *MM. de Wendel*, de *MM. Dupont et Dreyfus* et de *MM. Karcher et Westermann* forment un groupe d'usines caractérisées par les propriétés spéciales que leurs fers doivent à la nature des minerais qu'elles emploient. Ces minerais, un peu phosphoreux, appartiennent à l'étage inférieur de l'oolithe, et affleurent, suivant une zone continue, sur le flanc des coteaux qui bordent la vallée de la Moselle. Grâce à cette circonstance et à la régularité de leur gisement, ils peuvent être exploités à très peu de frais, et leur prix de revient est extrêmement minime.

Les fers qui en proviennent sont mous et ductiles à chaud. Ils passent au laminoir avec une telle facilité qu'on peut, en une seule chaude, leur faire subir les plus grandes transformations. Cette propriété tient probablement à ce que la présence d'un peu de phosphore dans le fer abaisse son point de fusion, et par suite la température à laquelle il se ramollit. C'est là un avantage précieux pour la fabrication des fers profilés de toutes formes.

L'exposition de MM. Dupont et Dreyfus présentait une collection de types de ce genre remarquables autant par leur variété que par le fini de leur exécution. On y voyait aussi des tôles de grandes dimensions, à bords venus rectilignes au laminoir

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. le *baron d'Adelsward* a établi à *Longwy* depuis quelques années des hauts fourneaux au coke pour la fabrication des fontes de moulage. Il cherche à fabriquer des produits capables de lutter contre la concurrence des fontes d'Écosse. On ne peut qu'applaudir à ces efforts, et si M. d'Adelsward parvient à atteindre complétement le but qu'il se propose, il aura obtenu un résultat important, et de nature à exercer une grande et heureuse influence sur toute une branche de l'industrie française.

Les *Forges de Denain et Anzin*, placées sur les houillères de ce nom, mais à une assez grande distance des minerais, se sont principalement attachées à la fabrication des fers au coke de grande consommation, tels que fers marchands, rails, fers à T, cornières, fers à vitrages, tôles pour ponts et tôles pour chaudières. Ces usines fournissent une partie notable des fers employés dans les départements de la Seine et de Seine-et-Oise; leur production annuelle s'élève à 40,000 tonnes de fer environ.

La *Société Boigues-Rambourg et C*ie possède dans le Cher, l'Allier et la Nièvre des mines de houille, des minières et plusieurs établissements métallurgiques importants : les forges de *Fourchambault*, qui affinent et transforment en fers marchands une partie des fontes fabriquées à Montluçon; l'usine de *Garchisy*, qui s'occupe spécialement de la fabrication des pièces de moulage, des essieux et des roues de wagons, et de la construction des ponts en tôle; enfin la fonderie de *Torteron*, qui s'est acquis une juste renommée par la fabrication de ses tuyaux de conduite en fonte, employés à Paris et dans un grand nombre d'autres villes pour les grands travaux de canalisation. L'usine de Torteron, qui a été la première en France à adopter, en les perfectionnant, les procédés inventés en Angleterre pour la préparation mécanique des moules, est installée de la manière la plus intelligente et la plus rationnelle pour le genre spécial de fabrication dont elle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

s'occupe presque exclusivement. On a pu se convaincre de la qualité de ses produits par l'examen des tubes qu'elle a exposés ; ces tuyaux, coulés verticalement, présentent, au sortir du moule, une netteté de forme et une régularité d'épaisseur remarquables.

Comme importance de fabrication, Torteron n'est surpassé que par les *fonderies de Marquise*, qui continuent à être les plus forts producteurs de France en fonte moulée.

La *Société anonyme des forges de la Providence*, constituée en 1838 en Belgique, a créé depuis cette époque deux nouveaux établissements en France. Les fers marchands, les fers spéciaux, notamment les fers à planchers, forment la plus grande partie de sa production. La première, elle a fait des roues de wagons en tôle pleine, laminée et sans soudure ; dans ces derniers temps, elle a augmenté à la fois la légèreté et la résistance de ces roues, en donnant à la tôle, par le laminage même, une forme ondulée. Les produits bruts de ce genre envoyés à l'Exposition témoignent de la perfection de l'outillage employé à leur fabrication. Les usines de la Providence produisent par an environ 90,000 tonnes de fonte et 42,000 tonnes de fer.

Les *Forges de Maubeuge,* établies en 1837, se sont beaucoup développées depuis cette époque. Elles s'occupent surtout de la fabrication des objets de fonte moulée, des rails, et des fers spéciaux qui entrent dans la construction des édifices et des ouvrages d'art.

La *Société de Terre-Noire, la Voulte et Bessége* avait exposé des fontes moulées et divers types de fers laminés. Ces usines importantes fabriquent annuellement environ 110,000 tonnes de fontes brutes et moulées, et 50,000 tonnes de fers, rails et tôles. Elles font aussi, depuis peu de temps, dans leur forge de Terre-Noire, de l'acier fondu par la méthode Bessemer.

La *Société métallurgique de l'Ariége* a exposé des fontes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lamelleuses à grandes facettes, des fers fins, et une remarquable collection d'aciers et de ressorts de carrosserie, provenant exclusivement du traitement des minerais du Riancé : grâce à ses efforts, cette société a réalisé de grands progrès dans la fabrication de ses fers, dont le prix est descendu à 300 francs et même à 250 francs la tonne, et dans celle de ses aciers, notamment de ses aciers puddlés, qui jouissent depuis longtemps d'une légitime réputation.

Nous avons déjà parlé du procédé inventé par M. *Gueunier-Lauriac* pour couler les pièces qui ne doivent pas offrir, en tous leurs points, la même dureté et la même ténacité; les parties qui ont surtout besoin de présenter une grande dureté sont coulées en fonte blanche, les autres en fonte grise. Nous avons cité l'exemple d'un cylindre de laminoir, dont la table était en fonte blanche très-dure, tandis que le noyau central et les tourillons se composaient de fonte grise et tenace; ce noyau est coulé dans le cylindre annulaire de fonte blanche, avant son refroidissement. La cassure du fragment de cylindre exposé par M. Gueunier-Lauriac montre que l'adhérence entre les deux espèces de fontes est assez intime; si ce procédé n'offre pas dans la pratique de trop grandes difficultés d'exécution, il trouvera certainement de nombreuses applications; il pourrait, notamment, être utilisé dans la fabrication des canons en fonte de la marine, dont la partie extérieure doit posséder une grande ténacité, et dont l'âme doit, au contraire, présenter la plus grande dureté possible pour conserver sa forme.

Citons encore les nombreux produits en fonte malléable de M. *Dalifol* : la variété et la bonne exécution des objets exposés montrent tout le parti que M. Dalifol a su tirer de la propriété que possèdent les pièces en fonte de se décarburer au contact de certains oxydes, et donnent une idée du développement que pourra prendre ce genre de fabrication.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Après ce rapide examen, dans lequel nous avons dû nécessairement passer sous silence bien des établissements qui tiennent un rang considérable dans la métallurgie française, nous résumons, dans les tableaux suivants, les principales données relatives à la statistique de la fabrication du fer en France

CONSISTANCE DES USINES.	1825	1846	1856	1861	1864
Hauts fourneaux au bois	374	368	385	282	210
Hauts fourneaux au coke	4	55	120	113	137
Hauts fourneaux au mélange	»	51	86	77	83
Fonderies Fours à réverbère	?	61	41	58	93
Fonderies Cubilots	?	471	594	682	808
Forges catalanes	130	100	93	68	15
Feux d'affinerie	1,125	705	606	510	462
Fours à puddler	»	456	931	1,044	1,022
Fours à réchauffer	?	637	827	985	962
Laminoirs	?	?	?	577	543

PRODUITS.	1825	1840	1850	1860	1864
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Fonte au bois brute	194,166	223,469	190,636	274,658	210,974
Fonte au bois moulée		47,241	38,883	41,842	13,536
Fonte au coke, seul ou mélangé de charbon de bois, brute	4,400	69,087	155,797	526,533	908,748
Fonte au coke, seul ou mélangé de charbon de bois, moulée		7,976	20,336	55,319	79,493
Fonte moulée en 2e fusion	?	?	?	147,346	214,569
Fers (méthode catalane)	9,374	?	?	?	?
Fers au charbon de bois ou aux deux combustibles	56,954	103,305	73,457	96,415	86,038
Fers à la houille	44,200	134,074	49,652	435,796	706,025
Rails	»	?	23,087	121,348	215,983
Tôles	?	?	?	63,591	100,000
Fil de fer	?	?	?	27,498	40,529

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 2. — Belgique.

L'industrie du fer a pris depuis trente ans environ un très-grand développement en Belgique. La fonte a été, jusque dans ces dernières années, un élément important des exportations de ce pays ; aujourd'hui il n'en est plus exporté qu'une faible quantité, la Belgique achète même à l'étranger, surtout en Écosse et en Angleterre, des quantités assez considérables de fontes de moulage et d'affinage.

Très-favorisée au point de vue des combustibles, la Belgique peut, grâce au développement de ses voies de communication, atténuer l'inconvénient dû à l'éloignement qui existe entre la plupart de ses minières et les gisements houillers.

Les minerais employés sont des hématites, les minerais oligistes de la province de Namur, et les minettes du Luxembourg. Ils donnent des fers malléables et d'assez bonne qualité, se rapprochant des fers du Staffordshire ; ces minerais ne possèdent pas, d'ailleurs, la propension aciéreuse ; aussi les tentatives faites dans le but de naturaliser la fabrication de l'acier avec les minerais indigènes n'ont-elles jamais donné, en Belgique, de résultats favorables. On a essayé avec plus de succès, pour atteindre ce but, l'addition de minerais manganifères tirés principalement du duché de Nassau.

Les fers sont généralement fabriqués au combustible minéral. Ils sont assez tenaces, et trouvent un écoulement facile non-seulement en Belgique, mais encore dans les pays limitrophes, le midi de l'Europe, la Russie et même l'Amérique.

La *Société anonyme des hauts fourneaux, usines et charbonnages de Châtelineau, de Marcinelle et de Couillet* avait exposé des fontes, des fers en barre, des tôles et des échantillons de rails, les uns à grains fins, les autres de qualité ordinaire.

Les tôles de *MM. Delloye et Mathieu, à Huy*, continuent à justifier la réputation de supériorité qui leur a été reconnue depuis longtemps en Belgique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous citerons encore la *Société anonyme des forges de Montigny-sur-Sambre*, qui avait exposé des traverses en fer pour chemins de fer ; la *Société anonyme de la fabrique de fer d'Ougrée*, qui avait envoyé des roues et bandages sans soudures ; les forges et fonderies de *MM. Dorlodot frères*, et enfin la *Société des forges de Zône*.

Les tableaux suivants montrent avec quelle rapidité s'est effectué le développement de l'industrie du fer en Belgique.

CONSISTANCE DES USINES.	1845	1855	1864
Hauts fourneaux au coke	33	52	46
Id. au bois	23	19	5
Fonderies : fours à reverbère	10	24	20
Fonderies : cubilots	104	181	191
Feux d'affinerie	137	113	65
Fours : à puddler	161	282	390
Fours : à réchauffer	124	156	181
Laminoirs	79	123	151
Ouvriers	6,019	11,131	15,763

PRODUITS.	1845	1855	1862	1864
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Fonte au bois	13,504	14,134	3.611	5.545
Id. au coke	121,059	280,136	352,939	444,330
Id. moulée	12,782	26,462	65,638	67,752
Fers	54,610	132,177	237,060	320,642

§ 3. — Prusse.

La Prusse est peut-être, de toutes les nations de l'Europe, celle dont l'industrie métallurgique a fait, dans ces dernières

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

années, les progrès les plus rapides, tant au point de vue de l'importance numérique que de la qualité des produits.

Elle possède en abondance les combustibles et les minerais; mais leurs gisements sont en général séparés par des distances considérables; aussi leur exploitation n'a-t-elle pu se développer qu'après l'établissement des voies ferrées, et après la suppression d'une partie des charges financières qui pesaient sur l'industrie métallurgique de ce pays.

A mesure que la fabrication du fer s'est développée, elle s'est concentrée dans un nombre restreint de grandes usines, groupées sur les trois bassins houillers de la Westphalie, des provinces rhénanes et de la Silésie.

Fonte. — La pureté et surtout la richesse en manganèse d'une partie des minerais de fer de la Westphalie et des provinces rhénanes ont provoqué, dans ces deux districts, la production sur une vaste échelle d'une fonte que ses qualités font réserver spécialement pour la fabrication de l'acier; c'est la fonte blanche, lamelleuse, cristalline, désignée sous le nom général de *Rohstahleisen*, ou fonte aciéreuse; on la subdivise en *Weiszstrahliges Gusseisen* (fonte rayonnée blanche), et en *Spiegeleisen* (fonte miroitante).

La première est destinée à la fabrication de l'acier puddlé naturel, la seconde à celle des aciers cémentés et fondus. La fabrication du spiegeleisen a pris une extension considérable depuis la vulgarisation du procédé Bessemer, la pureté de cette fonte permettant de l'employer pour recarburer au degré voulu, à la fin de l'opération, le métal en fusion. Ainsi, tandis que la production totale de la fonte recevait, dans la période décennale de 1855 à 1865, une augmentation de 253 pour 100, celle du spiegeleisen s'est élevée, dans la même période, de 7,500 à 47,000 tonnes, ce qui fait un accroissement de plus de 600 pour 100.

Cette grande extension n'a été possible que grâce à la substitution, regardée longtemps comme irréalisable, du coke au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

charbon de bois; aujourd'hui les trois quarts environ du spiegeleisen sont fabriqués avec le combustible minéral.

Sous l'influence de cette tranformation, le prix de revient moyen des fontes de toute nature a subi, dans la période décennale dont nous venons de parler, une réduction de 36 pour 100, et cela sans préjudice pour la qualité des produits correspondants.

Les fontes sont en général affinées dans les établissements mêmes où elles sont produites; quelques usines pourtant se consacrent plus exclusivement à leur fabrication. Nous citerons parmi elles : la Compagnie dite *Cöln-Müsener-Bergwerks-Actien Verein* qui exploite le célèbre gisement de fer spathique du Stahlberg, près Siegen, et dont la production annuelle ne s'élève pas à moins de 40,000 tonnes de fonte aciéreuse, dont 15,000 tonnes de spiegeleisen renfermant jusqu'à 8 et 10 pour 100 de manganèse; l'usine de *Burghaldingshausen*, à *Herdringen*, en Westphalie, appartenant au *comte de Furstenberg*, dont les fontes miroitantes, fabriquées exclusivement au charbon de bois, jouissent d'une grande réputation; les usines de *J.-H. Dresler*, à *Siegen*, qui emploient au contraire presque exclusivement le coke, et fabriquent des fontes aciéreuses, transformées en partie dans les usines elles-mêmes en fers et aciers pour tréfilerie; la Société des mines et usines de *George-Marie*, à *Osnabrück*, dont les fontes au coke sont partiellement destinées au moulage; enfin les usines de *Wiesener-Hütte*, *Charlotten-Hütte* et *Hermanns-Hütte*, dont les fontes miroitantes sont plus spécialement destinées au procédé Bessemer.

Comme produits de moulage en deuxième fusion, nous devons citer les objets d'art de la *Fonderie royale de Berlin*, et les cylindres de laminoirs de l'*Usine royale de Malapane* (Silésie), qui en avait envoyé à l'Exposition une série de types d'une exécution très remarquable.

Fer. — La fabrication du fer forgé ou laminé a aussi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reçu un grand développement, et a subi des transformations analogues à celles que nous venons de signaler pour les fontes. La production annuelle s'est élevée, dans la période décennale de 1855 à 1865, de 214,000 à 513,000 tonnes, ce qui fait un accroissement de 140 pour 100 ; cet état de choses tend à s'accentuer encore par suite du traité de commerce conclu en 1865 avec la France et l'Angleterre.

La *Société du Phénix* se livre surtout à la fabrication des rails et des fers spéciaux pour le matériel roulant des chemins de fer. Elle comprend douze hauts fourneaux, dont deux au bois, et soixante-dix-neuf fours à puddler, et possède en outre des mines, d'où elle extrait la plus grande partie des minerais et des charbons, qui alimentent ses usines. Sa production, en 1866, s'est élevée à 57,000 tonnes de fonte, et à 41,000 tonnes de fer ouvré, dont près des deux tiers à l'état de rails.

Parmi les produits exposés par la Société du Phénix, nous devons mentionner, outre les tôles, rails, essieux, roues et bandages, qui sont l'objet principal de sa fabrication, un arbre de couche creux de $6^{m}50$ de longueur, $0^{m}32$ de diamètre intérieur, et $0^{m}12$ d'épaisseur.

La *Compagnie des mines et usines de Hœrde* possède seize hauts fourneaux ; elle produit 50,000 tonnes de fonte, 32,000 tonnes de fers et aciers, et occupe 4,200 ouvriers. Elle fabrique des rails et des tôles pour chaudières, des plaques de blindage, des fers spéciaux pour chemins de fer, et des organes de machines. Depuis quelques années elle a substitué, pour une partie de ses produits, le métal Bessemer au fer et à l'acier puddlé. Nous devons également mentionner les efforts qu'elle a faits pour créer de nouveaux types de rails, disposés de manière à permettre la suppression des traverses en bois.

Les établissements de *M. Borsig*, de Berlin, s'occupent principalement de la construction des machines, et seront

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

examinés à ce point de vue dans le rapport sur la classe 63. Mais M. Borsig possède en outre une forge qui mérite une mention toute spéciale, parce que le puddlage mécanique y est appliqué sur une très-grande échelle. Les loupes que cette forge avait exposées comme provenant d'une seule opération, et qui ne pesaient pas moins de 900 à 1,000 kilogrammes, témoignent à la fois de l'habileté des ouvriers, de la puissance des engins mécaniques employés, et des progrès réalisés dans leur adaptation aux procédés de la métallurgie.

Parmi les établissements consacrés plus spécialement à la fabrication des tôles et des fers profilés pour les constructions, nous devons signaler les usines de la *Compagnie des forges de Saarbruck*, l'*Usine royale de Silésie*, celle de *Neukirchen*, celle du *comte Henkel, de Donnersmark*, en Silésie, de *Heinrichs-Hütte*, sur la Ruhr, enfin la forge de *Rothe-Erde*, près d'Aix-la-Chapelle, renommée pour ses fers d'angle et ses fers à tréfiler.

Nous terminons par le tableau des données statistiques qui résument le développement de la métallurgie du fer en Prusse.

CONSISTANCE DES USINES.	1837	1847	1857	1861
Hauts fourneaux.....	200	247	256	233
Cubilots.....	?	47	?	441
Fours à puddler.....	60	763	?	810
Fours à réchauffer.....	?	262	?	242

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PRODUITS.	1835	1854	1860	1864	1865
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Fonte (en général).....	32,800	217,000	362,000	706,000	771,902
Fonte aciéreuse.....	?	7,300	4,400	?	47,000
Fonte de moulage.....	?	29,600	28,500	?	?
Fonte moulée.....	10,300	65,100	76,700	190,000	?
Fers.....	23,700	208,000	265,700	369,000	513,000
Tôle.....	1,900	22,100	37,000	63,000	?
Fer-blanc	?	2,000	3,150	?	?
Fil de fer.....	?	19,300	22,000	33,000	?

§ 4. — Autriche.

L'industrie du fer, en Autriche, est concentrée principalement dans les provinces de Styrie, de Carinthie et de Transylvanie ; les usines de ces districts traitent surtout des minerais spathiques, des hématites et des peroxydes de fer; la nature de ces minerais les rend particulièrement aptes à la fabrication de l'acier, aussi la plupart des usines de Styrie produisent-elles des fontes miroitantes (*Rohstahleisen*, *Spiegeleisen*) analogues à celles du pays de Siegen, et dont la plus grande partie est transformée en aciers puddlés, cémentés ou fondus.

Les hauts fourneaux styriens sont alimentés au charbon de bois, et sont soufflés, comme les fours suédois, avec de l'air chauffé à 200° environ.

Le développement pris en Styrie par le procédé Bessemer a un peu diminué l'importance de la fabrication du fer dans ce pays ; aussi nous nous bornerons à citer les principales usines, puisqu'elles sont étudiées avec plus de détails dans un autre rapport.

L'usine de *Murau*, appartenant au *prince de Schwartzenberg*, a plus de deux cents ans d'existence, et fabrique annuellement, au charbon de bois, 4,000 tonnes de fonte destinée spéciale-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment à la fabrication de l'acier. C'est dans cette usine que fut installé le premier convertisseur Bessemer de l'Autriche. Le fer n'entre dans sa production que pour un chiffre de 800 tonnes.

La même observation peut s'appliquer aux usines I. R. de *Neuberg* et d'*Eibiswald* et à celle de *Gratz*, appartenant à la Compagnie I. R. des chemins du Sud de l'Autriche.

Les établissements de *M. Franz Mayr*, à *Leoben*, s'attachent surtout à fabriquer, par la méthode anglaise, des fers à grains pour organes de machines. Le puddlage s'effectue dans plusieurs petites usines produisant annuellement 15,000 tonnes de fer et 3,500 tonnes d'acier cémenté et fondu.

L'association *Radmeister* (*Radmeisters Communitœt*), à *Vordernberg*, a exposé une série de fontes miroitantes obtenues au charbon de bois, et une collection des minerais employés et des laitiers provenant de leur fusion.

Citons encore : les grosses pièces de forge d'un travail remarquable fabriquées avec les fers à grains et les aciers de l'usine de *Store*, appartenant à *M. Paul de Putzer;* les fontes et cylindres de laminoirs bruts et polis et les fers fins du *baron de Dickmann;* les produits variés des fonderies et forges d'*Innersberg;* l'assortiment des tôles de *Johann-Adolfhütte;* enfin les tôles fines de l'usine de *Krems*, appartenant au *comte de Méran*. Cette dernière usine emploie, pour le puddlage et le réchauffage, des fours dont la disposition permet l'utilisation des lignites, si abondants dans les vallées du versant nord des Alpes.

En *Carinthie*, nous trouvons les usines du *comte Henkel, de Donnersmarck,* qui avaient envoyé à l'Exposition une collection assez complète de leurs produits : plaques de blindage, roues, bandages, essieux de wagons; et de leurs matières premières : houille, minerais, etc.

Nous citerons encore les fontes aciéreuses de *M. Rauscher*, à *Saint-Viet* et *Heft*, en Carinthie, et les tôles et fers-blancs de la *Compagnie I. R. P. de Wœllersdorf*, près Neustadt-Vienne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La *Compagnie I. R. P. des Chemins de fer de l'État* exploite, dans le Banat, les houilles et minerais du terrain jurassique, et a installé une fonderie et une forge anglaise à *Steierdorf;* elle a exposé des tôles pour chaudières, des essieux de wagons et des rails de fer à champignon en acier puddlé.

Le tableau suivant résume la production de l'Autriche, en fonte et en fer.

PRODUITS.	1856	1860	1865
Hauts fourneaux	165	»	183
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Fonte brute	229,577	246,756	258,917
Fonte moulée	27,139	32,361	33,446
Fers en barre	?	?	174,487

§ 5. — Espagne.

L'Espagne possède de grandes ressources minérales, mais l'absence de voies de communication faciles et les crises politiques que ce pays a traversées ont empêché l'industrie métallurgique d'y prendre le développement dont elle est susceptible. Néanmoins, les minerais de fer d'Espagne sont l'objet d'un commerce assez étendu, à cause de leur richesse, de leur pureté et de la proximité des bords de la mer, où se trouvent plusieurs de leurs gisements; c'est ainsi que les minerais de fer oligiste et d'hématite de *Bilbao* et *Sommo-Rostro* sont exportés en grande quantité, soit en Angleterre, soit en France.

En Espagne, il n'existe qu'un très-petit nombre de grandes forges; aussi l'exposition de ce pays, riche en échantillons de minéraux, n'offrait-elle que peu de produits métallurgiques, fontes et fers.

Les forges catalanes sont encore répandues dans quelques

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

parties de l'Espagne ; mais l'emploi du combustible minéral pour la fabrication de la fonte et pour son affinage a pris, depuis vingt ans, une assez grande extension, et aujourd'hui beaucoup d'usines espagnoles sont construites sur le modèle des forges anglaises.

Parmi les établissements de ce genre, nous citerons, en première ligne, bien qu'elle n'ait rien envoyé à l'Exposition, la *Forge royale de la Trubia,* qui doit son développement et sa prospérité à l'habile direction du général Elorza, et dont les produits avaient été remarqués, pour leur qualité supérieure, à l'Exposition de 1862.

L'usine de *la Felguera*, appartenant à la *Société Duro et C*ie, a été établie, en 1857, dans les Asturies. Elle comprend deux hauts fourneaux au coke et seize fours à puddler, et n'emploie que des matières premières du pays ; la difficulté des transports l'a conduite naturellement à ne fabriquer que des fontes et des fers de bonne qualité. Sa production annuelle s'élève environ à 14,000 tonnes de fonte au coke et 7,000 tonnes de fers puddlés.

L'usine *Carmen de Baracaldo*, de la *Société Ybarra*, est située sur le bord de l'Océan, à Bilbao. De grandes quantités de minerais de Sommo-Rostro étant expédiées en Angleterre, cette usine se trouve dans de bonnes conditions pour recevoir les charbons anglais ; outre la fonte au coke, la fonte au bois et les fers puddlés, la Société Ybarra fabrique du fer par la méthode Chenot, à l'application de laquelle ses minerais se prêtent tout particulièrement par leur nature et par leur richesse. L'usine de Carmen fabrique annuellement environ 2,500 tonnes d'éponge métallique, outre 15,000 tonnes de fonte au coke et au bois.

Citons encore l'usine de *Bolueta*, près *Bilbao*, dont l'établissement remonte à 1843 ; celle de *Goitia et C*ie, à *Beasain*, et les forges de *M. Heredia*, à *Malaga* et à *la Conception*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La production du fer en Espagne était, en 1850, de 26,000 tonnes ; elle s'est élevée à 69,000 en 1856 ; elle a été de 48,000 tonnes seulement en 1865.

§ 6. — Suède et Norwége.

L'intérêt qui s'attache à l'industrie du fer en Scandinavie tient surtout à la qualité des produits que ce pays livre au commerce.

Les fers suédois doivent la supériorité qui les caractérise à la nature des minerais, qui sont presque exclusivement des oxydes magnétiques: leurs gisements, formant de puissants filons, sont groupés sur une vaste bande qui traverse la péninsule scandinave du S.-S.-O. au N.-N.-E., et atteint sa largeur maximum dans les provinces d'Orebro et de Westeras.

Fonte. — Le traitement métallurgique se fait au combustible végétal, et comme les voies de communication sont encore très clair-semées à la surface de ce vaste pays, les usines scandinaves sont assujetties à la condition d'être à proximité de mines et de forêts d'une importance proportionnée à celle de leur production.

La fabrication de chaque tonne de fonte exigeant l'emploi de 900 kilogrammes de charbon de bois, et son affinage un poids de combustible au moins égal à celui du fer obtenu, il en résulte que l'étendue de terrain boisé dont l'existence est nécessaire dans le voisinage de l'usine pour la production annuelle de chaque tonne de fer en barres ne s'élève pas à moins de dix et même de douze hectares. Cette circonstance explique l'inaction des hauts fourneaux suédois pendant une grande partie de l'année, et la faiblesse de leur production, qui, dans chaque campagne, atteint à peine 100 tonnes en moyenne.

Pour résumer les différents types réalisés par la métallurgie suédoise, on peut citer : les fontes blanches, cristallines,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lamelleuses (*Spiegeleisen*) d'*Œlsboda*, obtenues par l'addition de minerais de manganèse ; celles de *Nissafors*, extraites du minerai de Taberg, qui renferme de 1 à 3 pour 100 de manganèse, et jusqu'à 10 pour 100 d'acide titanique ; les fontes grises ou truitées de *Kihlafors*, *Carsdal*, *Siljanfors* et *Fagersta*, destinées au procédé Bessemer ; enfin les fontes de moulage de *Dormsjæ*, *Bolinder*, *Lesjæfors*, *Hellefors*, *Œfverrum* et *Motala*.

Un assez grand nombre de petites usines (soixante environ) s'occupent du moulage de la fonte ; leur production totale n'atteint pas 1,000 tonnes. Elles ne sont pas alimentées exclusivement par les fontes indigènes, dont le prix est toujours élevé et la teneur en carbone relativement faible. Ainsi, pour les produits qui n'exigent pas une très-grande ténacité, on emploie une proportion plus ou moins considérable de fonte graphiteuse d'Écosse.

La composition des principales fontes suédoises est indiquée dans le tableau suivant, dû à M. Rinman.

DÉSIGNATION DES FONTES.	NATURE.	CARBONE		PHOSPHORE.	SOUFRE.	SILICIUM.	ALUMINIUM.	CALCIUM ET MAGNÉSIUM.	MANGANÈSE.
		COMBINÉ.	GRAPHITE.						
Dannemora.....	grise.	1.04	3.65	0.02	0.02	0.35	»	»	»
Dannemora.....	truitée.	4.04	0.46	»	0.03	0.46	»	»	»
Persberg.....	truitée.	0.59	3.80	0.01	0.06	0.16	0.16	0.26	0.06
Langbanshytta..	blanche	3.68	»	0.03	0.02	0.15	»	0.44	0.59
Siljansfors.....	grise.	1.12	3.70	0.007	0.01	»	»	»	»
Kloster.....	blanche.	4.30	0.19	0.017	0.02	0.11	0.05	0.26	0.07
Fagersta(Norberg)	grise.	1.01	3.53	0.031	0.01	0.85	»	»	»
	truitée.	2.14	2.73	0.026	0.015	0.64	»	»	»
Vestansjö.....	blanche.	4.07	0.69	0.11	»	0.17	»	»	»
Finspong(Förola)	p. canons.	1.75	2.17	0.05	0.12	0.95	0.17	tr.	0.19

Fers. — L'affinage de la fonte s'est fait pendant de longues

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

années exclusivement au bas foyer ; aujourd'hui, outre quelques méthodes spéciales en usage dans un petit nombre d'usines et ne donnant qu'une production insignifiante, comme la fabrication de l'acier naturel à *Graninge*, et le procédé Uchatius, à *Wickmannshytta*, on emploie aussi le puddlage et le procédé Bessemer.

Le puddlage est d'un emploi récent en Suède. Il a été appliqué d'abord par les usines qui, situées comme *Motala* et *Nykoping* dans le voisinage du canal de Gothie, peuvent facilement recevoir d'Angleterre la houille qu'elles consomment. Mais on a commencé, dans ces derniers temps, à introduire avec succès le puddlage au bois dans les usines de *Nyby* et de *Surahammar*, et l'usine de *Gunnebo* s'apprête en ce moment à suivre cet exemple.

L'affinage au bas foyer ne se fait plus guère que par les méthodes wallonne et du Lancashire. On peut prendre, comme type des produits de la première, les fers de l'usine d'*Oesterby* (près Dannemora) ; la seconde est appliquée avec un succès à peu près égal dans les usines de *Finspong* (5,000 tonnes de fer en barres par an), *Lesjofors* (1,400 tonnes de fers pour tréfilerie), *Kloster* (1,000 tonnes de tôles), *Smedjebacken* (4,200 tonnes), *Gryt* (2,800 tonnes de grosses tôles et de fers profilés), etc., et dans les usines norwégiennes de *Naes* près d'*Arendal*, de *Baërum* et de *Fritzœ* près de *Fredericksvern*. Ces dernières forges utilisent les beaux minerais de la côte d'Arendal, et emploient la méthode du Lancashire, avec réchauffage au four à gaz. L'usine de Naes transforme en outre elle-même son fer en acier cémenté.

La qualité des produits de toutes ces usines est en général proportionnée à celle de leurs minerais ; le seul classement des fers suédois qui soit consacré par leur valeur commerciale est, en effet, celui qui est basé sur la nature des minerais d'où ils sont extraits. Nous trouvons ainsi, en première ligne, les fers obtenus avec les minerais de Dannemora, qui doivent être eux-mêmes subdivisés en trois classes au moins,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

puis ceux provenant des minerais de *Bispberg* et de *Persberg*, et immédiatement après, avec une très-faible nuance seulement, ceux qui sont extraits des minerais de *Langban*, *Nordmarck*, *Faberg*, *Vintiern*, *Nora*, etc.

Tous ces fers se distinguent essentiellement par leur propension aciéreuse; aussi étaient-ils presque tous exportés en Angleterre pour y être transformés en aciers cémentés et fondus.

On a depuis assez longtemps essayé d'introduire la fabrication des aciers cémentés en Scandinavie; mais cette fabrication, qui se pratique encore aujourd'hui à Naes et dans quelques usines de la province de Carlstad, n'a jamais pu, vu le prix élevé du combustible, prendre de grands développements. La production totale en acier cémenté s'est élevée au plus à 800 ou 900 tonnes par année. C'est ce qui explique la très-grande faveur avec laquelle a été accueilli en Suède le procédé Bessemer, qui a reçu sa première consécration à l'usine d'*Edsken*.

Les échantillons exposés par les usines de *Fagersta* et de *Gunnebo*, et les produits des usines de *Garpenberg*, *Siljanfors* et *Carlsdal*, étudiés dans le rapport spécial sur l'acier, permettent de mesurer l'importance des résultats obtenus dans cette voie nouvelle.

Nous résumons, dans le tableau ci-joint, quelques données statistiques relatives à la métallurgie du fer en Suède.

ANNÉES

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ANNÉES.	1835	1850	1865
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Minerai de fer magnétique	224,000	350,000	492,474
Minerai de fer hydroxydé des lacs et marais.	5,865		20,298
Fonte	97,495	130,000	226,676
Fonte moulée	31,875	»	8,382
Fer en barres	69,615	90,000	148,292
Fer ouvré et acier	7,650	»	27,200
Hauts fourneaux	»	222	219
Fonderies	»	»	59
Feux d'affinerie	»	1,347	906
Ouvriers occupés dans les fonderies	»	»	3,583
Id. dans les forges	»	»	5,400
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Exportation de la fonte	1,600	500	18,000
Id. du fer forgé	80,000	90,000	120,000
Id. de l'acier	2,600	3,450	4,680

§ 7. — Russie.

Les produits de la métallurgie du fer en Russie sont principalement des fers au bois de qualité supérieure. Les gisements des minerais de fer sont extrêmement nombreux et disséminés dans tout l'empire russe. Les plus importants, au point de vue de la production, sont situés dans l'Oural, où ils sont groupés dans les gouvernements de Perm et d'Orenbourg.

L'établissement métallurgique le plus remarquable est celui de *Taguil* (gouvernement de Perm), appartenant au *prince Demidoff*. Il a été fondé en 1725, et les neuf usines qui le composent sont établies dans une vaste propriété, com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prenant à la fois un grand nombre de mines de fer, de zinc, de platine et d'or.

Le principal, presque le seul gisement de fer exploité, est celui de fer oxydé magnétique de Visso-Kogora; la fonte fabriquée au bois est affinée, partie au bas foyer, partie au four à puddler.

L'exposition des usines de Taguil se composait de nombreux échantillons de fontes et de fers, remarquables par leur bonne qualité; la variété des produits témoigne de l'importance de ces usines, qui ne fabriquent pas moins de 25,500 tonnes de fonte et 16,800 tonnes de fers finis.

Les héritiers de *S. Jakovleff*, à *Alapaëv* (gouvernement de Perm), emploient, dans leurs quatre usines, plus de 41,000 tonnes de minerai, et produisent 8,200 tonnes de fer; le combustible employé est le bois de sapin.

Les usines de *Kyschtyme* (gouvernement de Perm), appartenant aux héritiers *Rastorgouief*, avaient exposé une collection assez complète de fontes, de fers, de tôles et d'objets en fonte moulée, obtenus par l'emploi exclusif du combustible végétal. La production de ces usines est d'environ 8,200 tonnes de fer et fonte.

Les forges et aciéries de *Votkinsk* (gouvernement de Viatka) dénaturent les fontes au bois de l'usine de *Goroblagodat*, et fabriquent des fers puddlés, des aciers puddlés et fondus, et du métal Bessemer. Elles livrent la plus grande partie de leurs produits au gouvernement russe, pour les ministères de la marine et de la guerre.

Mentionnons aussi les forges de *Kamsk* (gouvernement de Perm), qui ont exposé une plaque de blindage. Ce genre de fabrication a été installé dans cette usine en 1863; les fontes employées à Kamsk sont celles des usines de Goroblagodat.

La plupart des usines que nous venons de citer sont situées dans les gouvernements de Perm et Orenbourg; presque toute l'industrie sidérurgique est en effet concentrée dans ce district, qui fournit à peu près 90 pour 100 de la produc-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion totale de l'empire russe, laquelle s'élève par an à 278,000 tonnes pour la fonte, dont le prix moyen est de 170 francs. Les fers sont de bonne qualité, mais participent naturellement au prix élevé de la fonte. Leur supériorité tient non-seulement à la pureté des matières employées, mais encore à l'habileté et à la vigueur peu communes de la population ouvrière, qui, dans la plupart des forges, est vouée exclusivement, depuis plusieurs générations, aux travaux métallurgiques.

§ 8. — Italie.

L'exposition italienne était surtout remarquable par les minerais de la Sardaigne, de l'île d'Elbe, de la Toscane et de la province de Brescia. Quelques-uns de ces minerais sont importés en France en quantités considérables, à cause des grandes difficultés que l'absence de combustible minéral oppose à leur traitement sur place. La même raison fait que, dans un grand nombre d'opérations métallurgiques, on est obligé de substituer à la houille des combustibles moins parfaits, tels que le lignite et la tourbe.

Parmi les produits métallurgiques exposés par l'Italie, on a surtout remarqué ceux qui sortaient des ateliers de *G. Ansaldo*, et qui se composaient de plaques de blindages, d'arbres de machines et de diverses autres pièces, très-habilement travaillées, et qui témoignaient en même temps de la puissance de l'outillage de ces usines.

Nous citerons encore l'exposition très-variée et très-complète de *M. Glisenti*, de Brescia, en fonte brute et moulée, en fonte malléable, en fers, aciers, limes, etc; les fers des environs de Brescia sont, du reste, célèbres pour leur qualité supérieure, et étaient autrefois réservés pour la fabrication des armes à feu.

La production de l'Italie a été, en 1865, de :

26,807 tonnes de fonte brute.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

11,900 tonnes de fonte moulée.
14,432 tonnes de fer en barres.

§ 9. — États-Unis.

La production du fer offre, aux États-Unis, à peu près la même importance qu'en France; les hématites, l'oxyde magnétique, le fer oligiste et le fer spathique forment dans l'Amérique du Nord d'immenses dépôts; l'anthracite, la houille s'y trouvent en abondance, et d'ailleurs, les vastes forêts qui existent encore au nord et à l'ouest suffiraient, à elles seules, pour alimenter, pendant des siècles, les forges les plus considérables.

C'est surtout en Pensylvanie que la fabrication de la fonte s'est développée depuis 1840, c'est à dire depuis l'époque où on a commencé à utiliser l'anthracite dans les hauts fourneaux. Les fontes et les fers sont en général, aux États-Unis, d'une bonne qualité; mais les minerais, malgré la pureté et la richesse qu'ils présentent dans beaucoup de gisements, jouissent rarement de la propension aciércuse.

Le développement de l'industrie sidérurgique des États-Unis, qui était à peine représentée à l'Exposition par quelques fers ouvrés, a suivi, dans ces dernières années, une progression rapide, comme le montre le tableau suivant relatif à la fabrication de la fonte.

ANNÉES.	ÉTATS-UNIS.		PENSYLVANIE.			
	FONTE.	RAILS NEUFS.	HAUTS FOURNEAUX EN ACTIV.	LAMINOIRS.	FONTE.	FER.
	tonnes.	tonnes.			tonnes.	tonnes.
1810.....	54,000	»	»	»	»	»
1830.....	165,000	»	»	»	»	»
1850.....	600,000	145,000	»	»	»	»
1854.....	80,500	»	77	62	263,000	180,000
1860.....	884,900	435,000	?	62	502,000	249,000
1864.....	1,200,000	»	90	?	520,000	?
1865.....	»	»	85	102	377,000	390,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 10. — Grande-Bretagne.

La disproportion entre l'importance de l'industrie métallurgique d'une nation et celle de son exposition n'est accentuée nulle part aussi vivement que pour la Grande-Bretagne. Non-seulement une grande partie des forges les plus importantes s'étaient complétement abstenues, mais même celles qui avaient envoyé leurs produits n'étaient, faute d'espace peut-être, que très-imparfaitement représentées. Aussi serons-nous forcément très-bref dans la description des produits anglais.

Le Royaume-Uni peut être divisé en quatre groupes métallurgiques élaborant des variétés différentes de minerais, et fabriquant, par suite, chacun un ou plusieurs genres spéciaux de fers : l'Écosse, le district du nord (comprenant le Cumberland, le Cleveland et le Durham), le district du centre (comprenant le Staffordshire et les comtés voisins), enfin le pays de Galles.

L'Écosse élabore surtout dans ses usines le blackband, minerai spathique intercalé dans le terrain houiller, et produit des fontes graphiteuses dont les qualités sont universellement appréciées. Elles sont exportées dans presque tous les pays de l'Europe pour la fabrication des objets moulés en deuxième fusion, et servent aussi en France à la production des aciers puddlés de qualité ordinaire. Aucun des grands établissements de ce district n'avait envoyé de produits à l'Exposition.

Le district du nord est celui dont l'industrie métallurgique s'est le plus développée dans ces dernières années.

Les fontes du Cleveland sont obtenues avec un minerai jurassique dont la composition, l'allure géologique et les conditions d'exploitation sont analogues à celles des minerais de la Moselle. Le traitement de ces minerais s'effectue avec les charbons de Newcastle, d'une façon très-économique. Aussi ces fontes entrent-elles en concurrence sérieuse avec les fontes d'Écosse sur la plupart des marchés de la Belgique et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du nord de l'Europe. Les forges les plus importantes de ce district sont celles de *Consett iron Company* et de *Middlesboro*. Ces usines fabriquent spécialement des rails et des fers profilés; celle de Middlesboro avait envoyé à l'Exposition une série d'échantillons de fers spéciaux.

C'est à ce district que se rattachent les hauts fourneaux du Cumberland, dont les fontes sont l'objet d'une large exportation, et sont ajoutées dans plusieurs centres métallurgiques de l'Angleterre aux fontes indigènes, pour améliorer la qualité des fers. L'usine de *West-Cumberland hematite iron Company* a exposé divers échantillons de fonte et de tôle produites avec les hématites rouges de l'ouest, qui constituent un minerai assez pur, exempt de soufre et de phosphore, et convenant par suite pour les tôles et pour les fers tenaces.

Le groupe du centre, dont les produits sont les plus variés et les plus renommés pour leur qualité supérieure, est aussi celui qui était le plus largement représenté à l'Exposition.

Les forges du *comté de Dudley*, les forges de *Lilleshall's Company*, dans le *Shropshire*, avaient exposé diverses pièces et des cassures de leurs fers de qualité tout à fait supérieure, remarquables par la finesse du grain et leur homogénéité.

A *Sheffield*, nous citerons seulement *M. Brown*, dont les aciers jouissent d'une réputation européenne, et qui a le premier fabriqué au laminoir les tôles de blindage. Au nord du district, nous trouvons enfin, dans le Yorkshire, les forges de *Bowling iron Company*, *low Moor-Company*, *Monkbridge iron Company*, dont les produits sont les plus réputés d'Angleterre : c'est à la pureté du combustible et aux soins extrêmes apportés à la fabrication que ces usines doivent la qualité supérieure des fers qu'elles produisent.

La forge de *Dowlais*, le plus grand établissement du pays de Galles, avait envoyé des échantillons de fonte. L'usine de *Blœnavon*, moins considérable, fabrique à l'air froid des fontes recherchées, surtout pour la fabrication des canons et des autres objets moulés qui exigent une grande résistance. Elle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avait exposé un assortiment varié de fontes et de fers laminés de très-bonne qualité. Citons encore, dans le même district, les forges de *Ystalyfera iron and Tin plate Company.*

Tableau de la fabrication de la fonte et du fer.

ANNÉES.	ANGLE-TERRE.	PAYS DE GALLES	ÉCOSSE.	TOTAL.	NATURE DES APPAREILS.
1740.....	?	?	?	57	Hauts fourneaux au bois.
1788.....	?	?	?	77	Hauts fourneaux au combustible minéral.
1806.....	?	?	?	226	
1826.....	?	?	?	262	
1855.....	311	156	122	589	
1860.....	304	147	131	582	
1865.....	376	140	141	567	
1867.....	329	?	111	?	
1865.....	4629	1395	383	6,407	Fours à puddler.
1865.....	513	170	47	730	Laminoirs.

Tableau de la production en fonte de la Grande-Bretagne.

ANNÉES.	ANGLETERRE.	PAYS DE GALLES.	ÉCOSSE.	GRANDE-BRETAGNE.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1740.....	?	?	?	17,000
1806.....	?	?	?	250,000
1826.....	?	?	?	581,000
1855.....	1,519,000	870,000	827,500	3,216,500
1860.....	1,871,400	1,018,400	937,000	3,826,800
1865.....	2,739,000	917,000	1,163,500	4,819,500
1866.....	2,574,000	959,000	994,000	4,527,000

§ 11. — Résumé.

La suppression complète ou partielle des obstacles qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

limitaient la concurrence entre les usines, la création de nombreuses voies de communication et surtout des chemins de fer, ont étendu, dans la plus large proportion, les débouchés des établissements métallurgiques, et ont profondément modifié les conditions économiques de la fabrication du fer. La construction des voies ferrées, la substitution de la machine au travail de l'homme ont multiplié, dans une mesure qu'on n'aurait pu prévoir, les besoins du commerce; sous ces influences, l'industrie métallurgique a pris, depuis trente ans, un développement immense, mais très-inégal dans les divers pays.

Ne pouvant, dans ce Rapport, chercher à mettre en lumière les causes qui expliquent ces différences, nous avons réuni, dans un dernier tableau, les données statistiques qui peuvent indiquer la manière dont s'est effectué ce développement.

ÉTATS.	ANNÉES.	A. FONTE.	ANNÉES.	B. FONTE.	C.	D.
		tonnes.		tonnes.		
France.....	1845	271,000	1864	1,213,000	18,2 %	19
Belgique.....	1845	134,500	1864	450,000	12,3 %	19
Prusse.....	1835	32,800	1865	772,000	75,0 %	30
Autriche.....	»	200,000	1865	259,000	»	»
Espagne.....	1850	26,000	1865	48,000	5,6 %	15
Suède.....	1835	97,500	1865	227,000	4,4 %	30
Russie.....	1838	171,000	1865	278,000	2,3 %	27
Italie.....	»	20,000	1865	27,000	»	»
États-Unis.....	1840	347,000	1864	1,200,000	10,2 %	24
Grande-Bretagne.	1840	1,400,000	1865	4,527,000	8,9 %	25
		2,699,800		9,001,000		

C. Accroissement moyen annuel de la production, $c = \frac{B - A}{A \times D}$.

D. Durée de la période écoulée entre les deux années dont la production est consignée sur ce tableau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VI

FERS ET ACIERS OUVRÉS

PAR M. J. MARTELET.

L'étude des fers et des aciers ouvrés, qui termine en le complétant le travail relatif à la métallurgie du fer, embrasse un nombre presque infini d'objets très-différents de forme et d'apparence, mais rattachés entre eux par des liens nombreux, en raison de leur communauté d'origine et des analogies que présentent les procédés de leur mise en œuvre. Cette étude est des plus intéressantes, car c'est dans une semblable réunion d'industries congénères que se manifeste surtout la fécondité de l'esprit humain, habile à chercher et à saisir les divers modes d'utilisation de la matière, et ingénieux à adapter, par mille combinaisons, cette matière successivement transformée à tous les usages de la vie pratique. Nous avons cru ajouter à cet intérêt en traitant séparément des diverses catégories dans lesquelles nous avons cherché à classer les objets soumis à notre examen ; c'est pourquoi nous avons divisé ce Rapport en chapitres, dont chacun, consacré aux industries d'une même famille, forme une notice spéciale et distincte, tout en se rattachant, autant que l'a permis la nature du sujet, à l'idée d'ensemble du travail ; les premiers chapitres sont relatifs aux produits qui dérivent plus directement de l'industrie métallurgique proprement dite ; les suivants traitent des fabrications plus spéciales, dans lesquelles la main-d'œuvre intervient pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une part plus considérable, et qui s'adressent à des usages plus variés et plus complexes.

Voici l'ordre et la désignation de ces chapitres :

1. Pièces de forge.
2. Tubes et fers creux.
3. Tréfilerie.
4. Clouterie.
5. Tissus métalliques et tôles perforées.
6. Aiguilles.
7. Ferronnerie.
8. Quincaillerie.
9. Taillanderie.

CHAPITRE I.

PIÈCES DE FORGE.

Nous comprenons plus particulièrement sous cette dénomination les pièces métalliques de grandes dimensions, forgées ou laminées, dont la fabrication présente des difficultés spéciales et exige l'emploi de moyens mécaniques énergiques; tels sont les grands arbres coudés des machines marines, les plaques de blindage, les étambots, les étraves et les gouvernails en fer, dont l'usage se généralise depuis quelque temps dans les constructions navales. Les autres pièces forgées, telles que roues, bandages, essieux ou organes divers de machines, sont, pour la plupart, fabriquées dans les grands ateliers de construction, dont l'examen trouve sa place dans une autre partie de cet ouvrage; nous ne nous en occuperons donc pas.

Au point de vue restreint que nous envisageons, c'est la France qui nous offre les spécimens les plus intéressants, et, en France, c'est un centre métallurgique placé dans une situation exceptionnellement favorable qui appelle principalement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

notre attention. Ce centre est le bassin de Rive-de-Gier où les diverses industries qui se rapportent à la mise en œuvre de l'acier et du fer se sont, depuis quelques années surtout, développées avec une activité remarquable. Aujourd'hui, Rive-de-Gier et les villes voisines, Saint-Étienne, Saint-Chamond, le Chambon-Feugerolles, sont peuplés d'ateliers de toute nature, où le fer et l'acier sont soumis aux applications les plus variées, et où une accumulation de puissance mécanique, favorisée par la présence d'un combustible abondant a permis d'entreprendre l'élaboration des masses métalliques les plus considérables.

Il a été fait dans une autre section une description détaillée des vastes établissements de la société Pétin, Gaudet et C^ie^, qui réunissent à une production d'acier fondu sans rivale en France, la fabrication des grandes pièces en fer pour la marine, et surtout celle des plaques de blindage, pour lesquelles cette maison célèbre a acquis une juste renommée; aussi nous bornerons-nous à rappeler ici que les forges de Saint-Chamond et de Rive-de-Gier, ont eu une part légitime du succès obtenu par la belle exposition installée dans le parc, à droite de la porte d'Iéna.

Nous avons à insister plus particulièrement sur les produits exposés par MM. Marrel frères de Rive-de-Gier, forgerons habiles, dont la maison, créée en 1852, acquiert chaque jour plus d'importance. La pièce capitale de cette exposition était un arbre à 3 coudes, du poids de 30,180 kilogrammes, destiné à la frégate cuirassée *le Suffren*; cet arbre, le plus remarquable peut-être en ce genre qui ait jamais été forgé, aussi bien par ses dimensions exceptionnelles que par la perfection de son exécution, présentait en outre l'incontestable mérite d'avoir été achevé en 32 jours seulement. Deux arbres semblables, mais terminés et ajustés, et, par suite, un peu moins lourds, ceux des vaisseaux *le Friedland* et *le Marengo*, se voyaient sur la berge, dans le hangar des machines marines; enfin, un quatrième arbre à 4 coudes, terminé aussi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mais plus petit, et pesant seulement 10,000 kilogrammes, figurait à côté du premier, dans l'exposition principale. Indépendamment de leurs arbres de couche, MM. Marrel exposaient les modèles en bois de deux pièces dont l'exécution résume toutes les difficultés de l'art du forgeron, et qui entrent aujourd'hui dans leur fabrication courante; c'étaient le modèle de l'étrave de la frégate prussienne *le Prince Frédéric-Charles*, et celui de l'étambot de la frégate espagnole *la Numancia;* cette dernière pièce, entièrement forgée au pilon et sans assemblage ni enture d'aucune sorte, pèse 20,040 kilogrammes et mesure $11^{m}50$ de hauteur sur $7^{m}50$ de longueur dans le sens de la quille. Divers organes de machines, un longeron de locomotive en forte tôle, des essieux et des plaques de blindage, dont l'une complétement repliée à froid pour montrer la ténacité du fer, complétaient cette exposition, qui a été fort appréciée de tous les hommes compétents, et qui l'eût été plus encore peut-être, si l'on eût pu grouper dans un même espace des produits que le manque de place a malheureusement fait disséminer sur plusieurs points.

Quelques chiffres paraîtront sans doute nécessaires pour juger de la puissance de production de cette maison, dirigée avec une supériorité que nous nous plaisons à constater, par M. J.-B. Marrel, l'aîné des six frères associés. En trois ans, les usines de Rive-de-Gier et de la Capelette à Marseille ont fabriqué six grands arbres à 3 coudes, d'un poids variant de 23,500 à 26,500 kilogrammes; depuis 1859, elles ont livré, soit à la Compagnie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, soit aux Messageries Impériales, 51 étambots ou étraves en fer, pesant de 5 à 20 tonnes; enfin elles ont, depuis 1861, fourni les plaques de 34 navires cuirassés de diverses grandeurs, dont 10 appartiennent à la Marine Impériale française. L'outillage des établissements est en rapport avec l'importance des produits; les usines à pilons renferment 17 marteaux, dont le plus gros pèse 20,000 kilogrammes et peut, par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'addition d'étampes plus ou moins lourdes, être surchargé de 10,000 kilogrammes; le laminoir comprend sept trains divers, un train universel conduit par une machine de 250 chevaux et deux presses hydrauliques pour cintrer à froid les blindages, développant chacune une pression de 1,250 tonnes; en outre, on vient d'installer, dans un atelier spécial, un nouveau laminoir universel à 4 cylindres, de la force de 800 chevaux, dont le modèle a figuré dans la galerie des machines, classe 47. Ce dernier appareil, dont les cylindres horizontaux ont 1 mètre de diamètre, 3 mètres de longueur de table et une levée de 70 centimètres, servira à laminer des plaques de blindage de toute dimension et des tôles de grande largeur; il est également destiné à la fabrication des grands fers à T et à double T, avec ou sans nervures intermédiaires, pour lesquels la maison Marrel est brevetée, et qui, obtenus désormais à un prix relativement modéré, seront d'un emploi avantageux dans les grandes constructions civiles aussi bien que dans les constructions navales. Les essais faits jusqu'à ce jour montrent que l'on pourra arriver, dans cette fabrication sans précédents, à une hauteur de $1^{m}60$ avec 30 centimètres de largeur d'ailettes et des longueurs qui dépasseront 10 mètres.

Nous ne croyons pas à propos d'entrer ici dans le détail des procédés suivis dans les diverses opérations, mais nous noterons toutefois les faits suivants qui nous semblent avoir de l'intérêt. Les loupes de puddlage pèsent en moyenne 200 kilogrammes; l'on pourrait aisément augmenter ce poids, mais les avantages apparents que présenterait le traitement de masses plus volumineuses ne compenseraient pas l'inconvénient résultant de la plus grande difficulté du cinglage pour l'expulsion complète des scories. Dans la composition des paquets pour le forgeage des grosses pièces, telles que les arbres coudés dont nous avons parlé plus haut, l'on emploie exclusivement le fer brut, c'est-à-dire cinglé, dégrossi et réchauffé sans corroyage; on obtient ainsi une soudure plus parfaite et une plus grande homogénéité. On se sert, au contraire, de fer ballé ou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

corroyé pour les plaques de blindage, pour lesquelles le laminage a, aujourd'hui, complétement remplacé le travail au marteau-pilon.

A côté de la maison Marrel, nous citerons, comme occupant parmi les forges de grosses œuvres un rang des plus honorables, l'établissement de MM. Russery et Lacombe, situé également à Rive-de-Gier et représenté à l'Exposition par une série de spécimens des plus remarquables. Ces industriels exposaient, entre autres objets d'exécution difficile, un gouvernail de navire, en fer, forgé d'une seule pièce, ayant 13 mètres de haut et pesant 5,000 kilogrammes. C'est le trente-septième de ce genre qu'ils livrent, depuis cinq ou six ans, aux ateliers de construction de Saint-Nazaire ou à ceux des Forges et Chantiers de la Méditerranée. Ils fabriquent également toutes les pièces entrant dans la composition des machines et celles du matériel roulant des chemins de fer, dont plusieurs ont donné lieu à des perfectionnements importants. L'on a pu voir parmi leurs produits des roues de wagons à rayons en fer assemblés dans un moyeu sans soudure, également en fer, et surtout des essieux de locomotive à coudes cintrés au marteau-pilon, qui présentent, au point de vue de la solidité, des avantages incontestables. Par les procédés ordinaires on fabrique l'essieu coudé en découpant dans une forte plaque de fer, soit à la tranche, soit à la machine à mortaiser, toutes les parties évidées, puis en opérant une torsion sur l'axe pour amener les coudes dans des positions perpendiculaires entre elles, ce qui altère doublement la force de résistance du métal. L'invention de MM. Russery et Lacombe, qui consiste dans l'emploi de matrices verticales et horizontales pour le cintrage à chaud des parties coudées, remédie à cet inconvénient en conservant les fibres du fer intactes dans toute leur longueur et en leur faisant suivre tous les contours de la pièce forgée. Une trousse, composée de barres de fer de deux largeurs différentes, de façon à croiser les joints, est chauffée et corroyée avec réserve de deux renflements aux places que doivent oc-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cuper les coudes ; puis chaque renflement est chauffé et porté successivement sous le marteau muni d'étampes ou matrices verticales, qui lui donnent la forme cintrée qu'il doit avoir ; les coudes une fois ébauchés, on les finit à l'aide de matrices horizontales et l'on termine la pièce à la petite forge. Le même mode de travail peut évidemment s'appliquer aux essieux en acier et permet de réaliser une économie notable ; du reste MM. Russery et Lacombe ont déjà cédé une partie de leur brevet à deux autres maisons qui l'exploitent concurremment avec eux.

D'autres usines importantes et nombreuses ont exposé des produits forgés, dont l'examen pourrait trouver place ici s'il n'en était fait une description circonstanciée dans les Rapports consacrés spécialement à la métallurgie du fer ; ce serait un double emploi que de nous y arrêter ; aussi nous bornerons-nous à mentionner, dans chaque pays, celles qui ont présenté les pièces les plus intéressantes. Nous citerons ainsi, en France, les forges de Fourchambault, de Niederbronn et de la Providence, pour leurs roues et leurs bandages ; en Angleterre, l'usine de F. Brown et C^ie^, à Sheffield, pour ses plaques de blindage ; celles de Bowling, à Bradfort, et de Monkbridge, à Leeds, pour leurs bandages et leurs essieux ; en Prusse, les ateliers de M. Borsig, à Berlin, dont les lopins et les tôles de grandes dimensions ont été fort remarqués ; enfin, en Autriche, les établissements de M. F. de Mayr, à Leoben, du comte Henckel de Donnersmarck, et des compagnies des chemins de fer autrichiens, à Vienne et à Gratz, pour leurs pièces de construction en fer ou en acier.

CHAPITRE II.

TUBES ET FERS CREUX.

La fabrication des tubes en fer a pris naissance et s'est développée en Angleterre ; c'est en 1808 que James Russell, fonda-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

teur de la maison J. Russell et fils, eut l'idée, à l'occasion d'une grève des ouvriers canonniers de Birmingham, de faire des canons de fusil au laminoir et fut ainsi amené à fabriquer, pour divers usages, des tubes à parois parallèles. Cette industrie a été peu florissante jusqu'en 1818; mais à cette époque, où l'éclairage au gaz commença à se répandre, elle prit une extension considérable qui n'a fait que s'accroître depuis que des perfectionnements intelligents ont permis de substituer le fer au cuivre rouge et au laiton dans les chaudières tubulaires et dans les conduites de vapeur. Elle fut introduite en France en 1829 par M. Gandillot, mais, dans le principe, elle ne reçut d'application que pour certains objets de serrurerie, tels que les barreaux de grille ou les meubles en fer pour lesquels on trouvait économie à substituer le fer creux au fer massif. En réalité, ce n'est que depuis un petit nombre d'années que l'emploi de ces tubes pour chauffages et conduites de gaz ou de vapeur a pris faveur dans notre pays, et que quelques maisons, après avoir d'abord tiré d'Angleterre les produits qu'elles livraient à la consommation, ont entrepris de les fabriquer elles-mêmes.

Les tubes en fer se font avec des bandes de tôle que l'on enroule sur des mandrins et que l'on soude ensuite à chaud, soit par simple rapprochement, soit par recouvrement; dans le premier cas on emploie la filière, dans le second le laminoir. Ces deux sortes de tubes n'ont pas les mêmes propriétés et ne conviennent pas aux mêmes usages. Les tubes étirés servent pour les conduites de gaz, les appareils de chauffage, ou pour les barreaux de grilles et objets du même genre; mais les tubes à recouvrement seuls sont propres aux emplois dans lesquels il est nécessaire de supporter des pressions élevées comme dans les chaudières à vapeur; ce sont ces derniers qui présentent les plus grandes difficultés d'exécution, principalement pour les grands diamètres; aussi, est-ce pour eux surtout que l'habileté de main d'œuvre, résultant d'une longue pratique, doit influer sur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les conditions de fabrication et assurer longtemps encore peut-être la supériorité de l'Angleterre.

Plusieurs maisons anglaises figuraient honorablement à l'Exposition. C'étaient en première ligne la maison James Russell et fils, de Wednesbury, qui a conservé son ancienne renommée et qui doit être considérée comme étant à la tête de cette branche d'industrie, puis l'usine d'Albion Tube Works, appartenant à MM. Lloyd et Lloyd, de Birmingham, et celle de MM. John Russell et C^ie^, de Londres.

Nous signalerons, comme progrès principaux, réalisés depuis 1862 dans les établissements de Wednesbury, la fabrication des grands tubes cylindriques dont le diamètre a été porté de 9 pouces (228^mm^) à 18 pouces (456^mm^), et celle des tubes coniques, employés aujourd'hui avec avantage dans certaines contrées comme poteaux télégraphiques; une méthode nouvelle permet d'obtenir ces tubes à l'aide d'une seule opération qui produit en même temps la soudure et la réduction régulièrement graduée du diamètre, sans qu'il soit besoin de préparation préalable. Nous ajouterons que les produits courants de MM. Russell sont exécutés avec une rare perfection et peuvent résister aux pressions les plus considérables; les tubes de 130 à 220^mm^ de diamètre, dont l'épaisseur varie de 3 à 6^mm^, supportent sans se rompre des pressions de 200 atmosphères; certains échantillons destinés à des usages spéciaux peuvent même résister à 500 atmosphères.

On fabrique également en Angleterre des tubes en métal homogène ou fer aciéreux et des tubes en acier; ces derniers sont forés dans des lingots que l'on étire ensuite à froid à l'aide de la presse hydraulique; les uns et les autres sont d'un prix élevé qui n'est peut-être pas justifié par une qualité correspondante; aussi la production paraît-elle plutôt en décroissance qu'en voie de développement.

Parmi les expositions françaises, la plus intéressante était, sans contredit, celle de MM. Mignon Rouart et Delinières, dont les produits très-soignés présentaient, au moins dans certaines

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

limites, une grande analogie avec les produits anglais. Ces industriels ont créé récemment à Montluçon une usine importante, dans laquelle ils fabriquent, avec des fers de choix, des tubes à rapprochement ou à recouvrement, de très-bonne qualité; ils ne paraissent pas avoir abordé encore les grands diamètres; mais, dans les diamètres moyens, ils ont exposé un assortiment de pièces très-variées de formes et d'une exécution remarquable; nous signalerons, entre autres, un tube conique et un serpentin qui ne le cédaient en rien, comme régularité de travail, à ceux que nous avons vus dans la section anglaise; ils fabriquent également toutes les pièces de raccord que, dans le principe, les ouvriers anglais étaient seuls capables d'exécuter; enfin, ils ont ajouté à leur fabrication celle d'un grand nombre d'objets pouvant se prêter aux besoins de la construction, tels que main-courantes de formes variées, gouttières, petits rails pour chemins de fer d'usines, moulures de différentes espèces, etc. Nous espérons que ces efforts amèneront un heureux résultat et contribueront à développer en France une industrie féconde en applications; il est regrettable, toutefois, que l'élévation des prix de revient, due surtout à la qualité des fers employés jusqu'ici, fasse obstacle à un accroissement de production qui serait la condition la plus favorable au perfectionnement des procédés de mise en œuvre.

Nous citerons encore, mais seulement comme producteurs de tubes soudés par rapprochement, M. Simon, de Saint-Dié, qui fait des conduites de vapeur à grande section pour chauffages d'usines, et la maison Gandillot et C^ie^ de Paris, qui s'est adonnée surtout à la spécialité des fers creux pour grilles, balcons, balustrades, échelles de jardin, etc.; le fondateur de cette maison a puissamment contribué à faire adopter en France l'emploi du fer creux dans la serrurerie, ce qui permet de réaliser une notable économie sans nuire à la solidité des objets fabriqués ni à l'élégance des formes. L'Italie et l'Allemagne exécutent maintenant aussi une certaine quantité d'ouvrages en fer creux, mais la priorité appartient, sans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

conteste, à M. Gandillot, dont les procédés ont été imités à l'étranger.

CHAPITRE III.

TRÉFILERIE.

La tréfilerie comprend deux fabrications distinctes : celle des gros fils et celle des fils fins. La fabrication des gros fils est aujourd'hui presque entièrement concentrée dans les forges dont la concurrence tend de plus en plus à faire disparaître les petits ateliers. Ce fait a été la conséquence naturelle de l'abaissement toujours croissant du prix des fers, qui a obligé les maîtres de forges à chercher, dans la dénaturation de leurs produits, une compensation à la réduction de leurs anciens bénéfices, et le mouvement a été favorisé à la fois par l'extension donnée, dans ces dernières années, aux usages du fil de fer et par les améliorations des procédés de puddlage, qui ont permis de substituer, dans une certaine mesure, les fers au coke aux fers au bois de qualité supérieure.

On peut admettre, comme démarcation entre les gros fils et les fils fins, le diamètre d'un millimètre, bien que l'une des catégories empiète quelquefois sur l'autre; les gros fils servent à la télégraphie, à la construction des ponts suspendus, à la fabrication des câbles, des grillages métalliques, des ressorts pour meubles et des pointes de Paris; les fils fins sont principalement utilisés dans la fabrication des cardes et des peignes à tisser.

Nous passerons rapidement sur ce qui concerne la grosse tréfilerie, dont l'étude trouve plus naturellement sa place dans un autre Rapport; nous dirons seulement que la production annuelle du fil de fer puddlé l'emporte aujourd'hui, dans une énorme proportion, sur celle du fil de fer au bois; pour la France, le rapport est de 150,000 tonnes à 30,000 ; il est plus considérable encore pour les autres pays.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Un assez grand nombre d'usines françaises ont exposé de beaux spécimens de ces deux sortes de produits, et, aussi bien pour les fils au bois de Champagne et de Comté ou du Limousin, que pour les fils au coke des grands établissements métallurgiques du Centre, la France peut aujourd'hui lutter avantageusement avec l'étranger, non-seulement sur son propre sol, mais même sur certains marchés du dehors.

En Angleterre, c'est surtout Birmingham qui est le centre de cette branche d'industrie; en Belgique, c'est Bruxelles ou Liége; en Prusse c'est Hamm, en Westphalie. Ces trois pays n'ont guère exposé que des produits au coke, tandis que des produits obtenus exclusivement au bois figuraient dans les salles de la Suède, de l'Autriche et de la Russie. L'une des expositions les plus complètes et les plus intéressantes était celle de la maison Cosack de Hamm, qui présentait un double système d'épreuves appliqué aux fils, de façon à en faire apprécier à la fois la résistance à la traction et à la torsion; nous y avons vu des fils du n° 18, jauge de Paris, supporter, sans se rompre, pendant toute la durée de l'Exposition, une charge de 530 kilogrammes, et les mêmes fils, tordus à l'aide d'une manivelle autour de leur axe, ne céder qu'après 28 à 30 tours.

En somme, en ne s'occupant que des produits courants, l'on peut dire que la supériorité appartient à la France; puis viennent au second rang la Prusse et la Belgique, et en dernier lieu l'Angleterre.

La production des fils fins, et en particulier des fils à cardes, offre plus d'intérêt, surtout en ce qui concerne l'industrie française. L'on sait que pendant longtemps l'Angleterre avait eu le monopole presque exclusif de cette fabrication, à laquelle un personnel expérimenté et des matières premières d'excellente qualité tirées de la Suède avaient fait acquérir une juste célébrité; les tréfileries d'Halifax et de Bradfort continuent à produire des quantités considérables de ces fils, bien que par suite d'abstentions regrettables elles ne soient que très-imparfaitement représentées au Palais du Champ-de-Mars; mais en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

même temps cette industrie déjà signalée en France et encouragée aux Expositions précédentes, s'y est rapidement développée et se trouve dès maintenant en mesure de suffire aux besoins du pays.

L'introduction en France des procédés anglais remonte à 1832 ; mais ce n'est que vingt ans après que l'emploi des fers de Suède de première marque, analogues à ceux que les Anglais mettaient en œuvre, permit d'arriver à un degré de perfection assez avancé pour n'avoir plus à redouter la concurrence étrangère. Aujourd'hui, il reste une question à résoudre, et c'est une question d'économie ; il faut arriver à diminuer le prix de la matière première pour laquelle on est encore tributaire de l'Angleterre; il faut, en un mot, substituer aux fers de Suède, accaparés par les Anglais, des fers français présentant des qualités analogues et ayant à un degré égal les propriétés aciéreuses si essentielles pour le genre de produits qui nous occupe. Ce but, on l'atteindra, il faut l'espérer, en se servant des fontes au bois, obtenues avec des minerais de l'île d'Elbe, de la Sardaigne et surtout de l'Algérie. Déjà des essais ont été tentés avec succès et permettent d'espérer que l'introduction, comme matière améliorante, du minerai de Mokta, est appelée à rendre d'éminents services à l'industrie de la tréfilerie fine.

Parmi les industriels les plus méritants, nous devons citer : MM. de Mandre de la Chaudeau et Bernard Fleury de Laigle, qui ont présenté de beaux spécimens de fils ronds ou triangulaires fabriqués avec des fers de Suède. On a remarqué entre autres, dans la vitrine de M. de Mandre, une belle pièce de fil, n° 25, ayant 32 kilomètres de long et pesant 8 kilog. 500. Nous mentionnerons également MM. Daubié et Vanoy, du Blanc-Murger (Vosges), qui, les premiers peut-être, ont entrepris la fabrication en grand du fil à cardes avec des fers français, et qui sont arrivés à faire accueillir favorablement leurs produits dans plusieurs de nos grands centres de filature et de tissage. La production du fil à cardes, en France, dépasse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aujourd'hui un millier de tonnes, quantité amplement suffisante pour les besoins de la consommation du pays.

L'Allemagne et la Suisse possèdent quelques tréfileries de fils fins qui fournissent à leur approvisionnement concurremment avec l'Angleterre et quelquefois avec la France lorsque les prix le permettent.

Il nous reste à dire quelques mots de la tréfilerie d'acier qui a été jusqu'ici le monopole presque exclusif de l'Angleterre. C'est la perfection à laquelle les fabricants de ce pays sont arrivés dans cette branche d'industrie qui a fait pendant longtemps la supériorité incontestée de leurs aiguilles, et, encore aujourd'hui, ils sont restés à la hauteur de leur réputation, aussi bien pour les fils à aiguilles ou à hameçons que pour les cordes métalliques, dont la maison Webster et Horsfall, de Birmingham, a exposé des types d'une exécution parfaite ; ce dernier article se fabrique aussi avec succès en Allemagne, mais la France est demeurée sur ce point fort en arrière, à cause de l'inexpérience de la main-d'œuvre qui n'a pas su se former encore à ce travail difficile et minutieux. Nous devons cependant signaler les essais tentés par une maison importante de l'Est, la maison Peugeot-Jackson, de Pont-de-Roide, qui a fait sous ce rapport les efforts les plus louables, en amenant à grands frais des ouvriers anglais et en montant des ateliers et des appareils spéciaux. Nous devons surtout enregistrer les résultats obtenus dans une spécialité toute distincte, la fabrication des aciers à pignons pour l'horlogerie, par d'autres fabricants francs-comtois, MM. Juillard et Amstutz, de Meslière-sur-le-Doubs, qui sont arrivés à étirer à la bobine, avec une rare perfection, des barreaux d'acier cannelé de tous diamètres, et qui ont exposé une série de produits entièrement nouveaux et véritablement remarquables. Non contents d'obtenir, à l'étirage, de longues pièces régulièrement cannelées, ces industriels ont cherché à remplacer par un procédé mécanique le perçage à la main, qui donne une grande quantité de rebuts, et ils ont imaginé à cet effet un tour automatique à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'aide duquel ils peuvent forer, à l'intérieur d'une barre d'acier d'un mètre de longueur, un trou central dont le diamètre, parfaitement uniforme, n'excède pas cinq dixièmes de millimètre; enfin ils ont complété leur œuvre par l'invention d'une autre machine automatique servant à terminer les dents des pignons, et exécutant ainsi presque sans frais la difficile opération du crenage. Ces divers perfectionnements, qui permettent de réaliser sur les anciens prix de revient une économie de 70 à 75 pour 100, ont fait de l'usine de Meslière un centre où viennent s'alimenter les principaux fabricants d'horlogerie, affranchis désormais de l'obligation d'aller chercher leurs pignons à l'étranger.

Il y a là un progrès sur lequel il importe d'insister, car il donne la mesure de ce que l'on est en droit d'attendre de l'aptitude industrielle de ces laborieuses contrées, et nous ne doutons pas que l'on ne parvienne, en continuant et en généralisant les tentatives déjà entreprises, à nationaliser dans notre pays l'industrie si intéressante de l'étirage de l'acier fondu.

CHAPITRE IV.

CLOUTERIE.

L'industrie de la clouterie est plus ou moins développée dans tous les pays producteurs de fer, mais dans aucun peut-être elle n'offre un ensemble aussi complet et aussi varié qu'en France; c'est, dans tous les cas, cette contrée qui a présenté, sous ce rapport, l'exposition la plus intéressante; aussi est-ce en France que nous allons étudier d'abord les diverses branches de cette fabrication, arrivée aujourd'hui à un degré d'extension considérable.

De temps immémorial, l'on a fabriqué des clous à la main sur tous les points du territoire français, et il est peu de villes qui encore aujourd'hui ne comptent un certain nombre d'ou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vriers cloutiers. Malgré cette dissémination, certaines régions se sont approprié plus spécialement cette industrie et en ont fait une source de production importante ; ces régions ont été et sont encore la partie nord des Ardennes, les villes de Valenciennes, Saint-Amand, Condé, Lille, dans le département du Nord ; Saint-Étienne, Saint-Chamond, Firminy, dans la Loire ; La Mure et Izeaux, dans l'Isère ; Tinchebray et ses environs, dans l'Orne ; enfin le département de l'Ariége. Mais, entre toutes, il faut citer en première ligne le Nord, qui fournit surtout les grands clous entrant dans la construction des bâtiments, et les Ardennes, qui ont pour spécialités les clous à souliers et les clous à ferrer les chevaux, fabrication importante, donnant lieu à un commerce des plus actifs, dont le centre est à Charleville.

L'invention des pointes de Paris d'abord, puis les applications de plus en plus répandues des procédés mécaniques, ont fait une concurrence redoutable à la clouterie à la main, en lui enlevant successivement une partie des sortes qu'elle fabriquait ; mais elle n'en a pas moins conservé une importance réelle, et la production annuelle de la France est encore maintenant de 15 à 16 millions de kilogrammes, dont les Ardennes fournissent environ la moitié. La clouterie forgée française a une supériorité incontestable sur les produits similaires étrangers ; elle est plus régulière, plus soignée, et elle jouit sous ce rapport d'une préférence marquée auprès des consommateurs.

On divise la clouterie mécanique en deux grandes catégories : la clouterie en fil de fer, qui comprend les pointes et les clous à chaussures, et la clouterie en tôle et en fer, dont les produits sont extrêmement variés, et sont caractérisés par des procédés très-différents.

Nous avons peu de choses à dire sur la pointerie, bien que ce genre de fabrication ait acquis une importance industrielle capitale ; le fait le plus saillant que nous ayons à noter est le déplacement de cette industrie, qui, de même que la tréfileric

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dont elle dépend, échappe peu à peu aux petits ateliers et est absorbée par les grands établissements métallurgiques ; aujourd'hui presque toutes les forges au bois du centre et de l'est de la France font à la fois du fil de fer et des pointes de Paris ; et l'on voit, par contre, un grand nombre de fabricants spéciaux, impuissants à soutenir la concurrence des usines qui les alimentaient autrefois, abandonner une industrie qui ne peut plus leur offrir de bénéfices.

Les clous à souliers, ou béquets, se font par quantités énormes dans la Moselle, les Vosges, le Doubs, le Jura et aussi dans les Ardennes, où un industriel de Charleville, M. Gailly fils aîné, a installé, il y a plusieurs années, un établissement important dont les produits sont de qualité supérieure; les clous de M. Gailly, dont on a pu voir à l'Exposition un assortiment remarquable, sont fabriqués à l'aide d'une machine qui diminue la grosseur du fil à l'endroit qui doit former la tige, en laissant au contraire intacte la partie où la tête doit être prise; on obtient ainsi un clou à tige fine et à grosse tête, qui a le double avantage de ne pas déchirer le cuir et de préserver convenablement la semelle. Le même procédé ou d'autres qui s'en rapprochent plus ou moins sont employés par la société Lévy et Cie, de Bains-en-Vosges, par la Compagnie des forges de la Franche-Comté, par M. Lambert de Vuillafans, qui produisent des clous à tiges fines également fort estimés.

La cloutterie mécanique en tôle date, en France, de 1826 ; elle a été importée d'Angleterre dans les Ardennes, où elle s'est développée graduellement, et aujourd'hui ce département compte dix fabriques d'importances diverses, produisant annuellement plus de 4 millions de kilogrammes de petits clous dits semences, bossettes, clous à ardoises, béquets, etc. L'invention récente d'une machine automatique, qui dirige la bandelette de tôle à découper, l'introduit dans la machine et la retourne sans le secours de l'ouvrier, a amené dans cette fabrication, d'ailleurs très-perfectionnée, une économie de main-d'œuvre qui, jointe à l'abaissement du prix des fers,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

permet aux producteurs français de lutter plus facilement aujourd'hui sur les marchés étrangers avec la concurrence anglaise ou belge.

Une branche spéciale et fort intéressante de la clouterie mécanique est la clouterie à chaud, d'origine américaine, importée d'abord en Angleterre, puis introduite en 1857 dans les Ardennes, où, grâce à d'intelligents efforts, elle est arrivée à un haut degré de perfection. Cette fabrication, localisée aujourd'hui dans l'usine de Saint-Marceau, appartenant à MM. Hubert Lechanteur, Brézol et Cie, comprend tous les grands clous employés dans la construction, les clous à navires ou à bateaux, les clous à caisses, enfin les clous à cheval. On prend le fer en barres plates de 2 millimètres et demi à 12 millimètres d'épaisseur, et on le découpe en bandelettes de longueur variable, suivant les dimensions des clous à obtenir ; ces bandelettes sont chauffées au rouge dans des fours à courant d'air forcé, puis portées à la machine, où se pratiquent trois opérations successives : le découpage, qui divise le fer en barrettes, le laminage, qui forme la lame du clou, au moyen d'une molette en acier servant à allonger régulièrement le métal, enfin le rabattage, qui termine la tête par le choc d'un marteau ; une machine de ce genre donne de 20,000 à 50,000 clous en douze heures, et la production totale de l'usine est d'environ de 1,500,000 kilogrammes par an. Les clous à cheval ne se font pas aussi simplement, le fer doit subir une préparation préalable à cause du renflement destiné à former la tête ; de plus, le laminage seul se fait à la machine ; il faut ensuite deux opérations complémentaires pour achever la pointe et la tête. Du reste, en général, pour les clous de cette espèce, la supériorité des procédés mécaniques n'est pas encore bien établie, et le travail à la main n'a pas eu jusqu'ici à souffrir de leur concurrence.

En résumé, la fabrication des clous de toute nature a fait en France de sensibles progrès pendant ces dernières années ; la production a grandi en même temps que les débouchés s'ou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vraient à l'exportation, et cette branche de l'industrie nationale peut désormais soutenir honorablement la comparaison avec les industries similaires dans les autres pays.

A l'étranger, c'est la Belgique qui, pour la spécialité qui nous occupe, offre avec la France le plus d'analogie; les produits belges se rapprochent en effet beaucoup comme procédés et comme qualité de ceux des Ardennes ; ils ont été également l'objet d'améliorations notables, et ils donnent lieu aujourd'hui à une exportation qui dépasse 12 millions de kilogrammes.

C'est surtout dans les arrondissements de Liège et de Charleroi que la clouterie a, comme chiffre de production, une sérieuse importance; la fabrication des clous forgés y occupe, comme en France, de nombreux ouvriers disséminés dans les campagnes, où ils sont employés, pendant une partie de l'année, aux travaux des champs. La clouterie mécanique en tôle et en fer se fait sur une grande échelle dans des établissements importants, parmi lesquels nous citerons en première ligne ceux de MM. Dawans et Orban, à Liége ; enfin la fabrication des pointes de Paris, qui depuis quelque temps s'est installée à Bruxelles, y a acquis un certain développement, et nous en avons vu d'assez beaux spécimens dans la vitrine d'un industriel de cette ville, M. de Bavay.

Les usines anglaises n'étaient représentées que par quelques collections peu nombreuses de clous à la mécanique, d'une exécution ordinaire, et le manque de renseignements ne nous permet malheureusement pas de formuler d'indications précises sur la situation de cette industrie dans le Royaume-Uni.

Parmi les expositions des autres pays, nous avons remarqué en Prusse les pointes de la maison Hobrecker, de Hamm ; en Bavière, celles de MM. Clett et C^ie^, de Nuremberg ; et en Autriche, les clous à la mécanique de MM. Nehrer, de Rosenau, et Ziegler et Bullaty, de Budweis. La Suède et la Russie ont exposé des clous forgés de bonne qualité; ceux de l'usine de Gunnebo, en Suède, nous ont surtout paru bien fabriqués, mais nous ne croyons pas que ces produits soient obtenus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans des conditions qui en permettent l'exportation au dehors; enfin, en Amérique nous avons vu, au nombre des produits canadiens, des clous en tôle d'une bonne exécution, principalement comme articles de maréchalerie.

CHAPITRE V.

TISSUS MÉTALLIQUES ET TOLES PERFORÉES.

§ 1. — Toiles métalliques.

La fabrication des tissus métalliques s'est surtout développée en France, en Angleterre et en Allemagne; stimulée dans ces trois pays par les exigences de diverses industries, qui lui demandent leurs principaux instruments de travail, elle y a progressé rapidement et y a pris, depuis longtemps déjà, une extension considérable. La France s'est particulièrement distinguée dans cette voie de progrès si essentielle à la prospérité et à l'indépendance d'autres branches importantes de sa production. Ayant à lutter, à diverses époques, contre les conditions défavorables résultant de l'élévation des prix de revient, et de l'infériorité des matières premières dont ils disposaient, les fabricants français ont su, par des efforts incessants, triompher de toutes les difficultés et s'élever jusqu'au rang qu'ils occupent aujourd'hui. Leurs produits, signalés dès 1851 pour l'excellence de leur qualité, ont toujours figuré avec honneur aux Expositions internationales qui se sont succédé depuis, et sont, cette fois encore, à la hauteur de leur ancienne réputation. Unissant la modération des prix à la perfection du travail, ils sont accueillis avec faveur par la consommation du monde entier et n'ont rien à redouter désormais de la concurrence étrangère. Aussi, malgré l'abaissement des droits imposés à l'entrée des toiles métalliques, l'importation de ce genre de tisus est-elle presque nulle, tandis que l'exportation est arrivée à un chiffre relativement considérable.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On estime que la production annuelle de la France représente une valeur d'environ 4 millions de francs; les trois quarts de cette production sont consommés dans le pays, et le dernier quart se répartit entre la Suisse, la Hollande, le Danemark, l'Italie, l'Espagne, la Russie, l'Amérique et l'Allemagne elle-même, où deux maisons françaises ont établi récemment des succursales.

Le centre le plus important de cette industrie en France est la ville de Schlestadt, dans le département du Bas-Rhin ; c'est là que sont groupées les principales fabriques de toiles métalliques, en tête desquelles nous devons citer la maison A. Roswag et fils comme la plus ancienne et la plus recommandable. C'est en 1778 que le fondateur de cette maison eut, le premier, l'idée de remplacer par des tamis en fils de laiton ceux en crins ou en soie dont on se servait précédemment, et imagina les procédés de tissage, que lui et ses successeurs se sont attachés à améliorer depuis, en même temps qu'ils travaillaient à étendre et à multiplier les applications de leurs produits. En toute circonstance MM. Roswag ont pris l'initiative des innovations qui pouvaient accroître la prospérité de leur industrie ; c'est ainsi que, les premiers en France, ils sont arrivés à fournir aux papeteries les toiles sans fin, dont l'invention, faite en Angleterre, venait de modifier profondément le mode de fabrication du papier. Ils ont constamment cherché à augmenter la finesse et la régularité de ce genre de tissu, devenu bientôt l'une de leurs spécialités principales, et chaque année, en quelque sorte, a été signalée par un progrès. L'on avait remarqué, en 1862, des toiles fines portant 310 fils de chaîne et autant de trame au pouce carré ; aujourd'hui ce nombre s'est élevé jusqu'à 390, ce qui peut être considéré comme une limite extrême impossible à dépasser. L'exposition de la maison Roswag était d'ailleurs la plus variée et la plus complète ; elle présentait un ensemble extrêmement intéressant des produits les plus divers, depuis les toiles à papier de grandes dimensions jusqu'aux objets confectionnés de toute

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nature, appliqués au mobilier ou aux usages domestiques.

Au nombre des expositions les plus dignes d'attention, nous mentionnerons encore celle de MM. Louis Lang et fils, de Schlestadt, dont les toiles sans fin pour papeteries sont justement appréciées, en France et à l'étranger, pour leur souplesse et leur parfaite régularité ; puis celle de MM. Franck et Cie, de la même ville, qui fabriquent de fort belles toiles unies ou à maillons et des toiles bridées pour presse-pâte, d'une grande solidité. Paris, Lyon et Angoulême possèdent également un certain nombre d'ateliers plus ou moins importants, recommandables par la bonne exécution et le prix modéré de leurs produits ; sans vouloir les énumérer tous, nous croyons devoir rappeler les noms de MM. Mage, de Lyon, Lacroix, de la Couronne, près Angoulême, et Gaillard fils, de Paris, comme méritant, à divers titres, une mention spéciale.

Dans la section anglaise, figuraient, en première ligne, MM. Comfort et Cie, de Londres, dont la vitrine renfermait des fils de laiton d'un beau tréfilage, en même temps que des toiles et des rouleaux vergés, avec filigranes, d'une fabrication remarquable ; puis M. Stones, de Londres également, qui avait dans la classe 59 une belle exposition de grandes toiles et de rouleaux égoutteurs vergés ; enfin MM. Greening et fils, de Warrington, dont les tourailles pour brasseries, en fer et en cuivre rouge, étaient ce que nous avons vu jusqu'ici de mieux en ce genre. Quant à l'Allemagne, elle était représentée par MM. Bracher et fils, de Villingen, dans le grand-duché de Bade, et par MM. Wandel et Steinmayer, de Reutlingen, dans le Wurtemberg, dont les maisons, égales en importance, fournissent des produits d'excellente qualité et font concurrence, de l'autre côté du Rhin, à nos usines alsaciennes.

§ 2. — Tôles perforées.

Il convient, en terminant ce chapitre, de dire quelques mots des tôles perforées, qui présentent une certaine analogie avec

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les tissus métalliques, au moins quant à leurs applications. Ces tôles, percées de trous d'une régularité mathématique à l'aide de procédés mécaniques perfectionnés, sont appelées à rendre des services très-réels, aussi bien à l'agriculture qu'aux diverses industries qui font usage d'appareils de classement ou de criblage ; on les applique avec avantage au triage des grains, à la meunerie, à la préparation et au lavage des minerais et des houilles ; on les emploie également dans les constructions et dans les objets d'économie domestique ou d'ameublement, tels que stores, panneaux, châssis, siéges ou tables de jardin, volières, cages, etc.

La fabrication en est simple et le prix de revient peu élevé; il importe seulement que les poinçons et les matrices dont on se sert soient ajustés avec une grande précision, ce qui n'est pas sans difficultés, surtout pour les perforés à trous fins et serrés. Un industriel français, M. Calard, a obtenu, sous ce rapport, les résultats les plus satisfaisants, en construisant des machines à balancier, à l'aide desquelles les trous sont percés à chaque coup sur toute la largeur de la feuille, quelles que soient les dimensions et la forme des poinçons ; nous avons vu, dans la belle collection de tôles qu'il exposait au palais de l'Industrie, des spécimens d'une régularité parfaite, présentant jusqu'à 4,000 trous au décimètre carré. Nous avons remarqué également, comme exécutés avec grand soin, les produits de MM. Foulon et Cie, de Liège, qui ont acquis en Belgique une réputation méritée.

CHAPITRE VI.

AIGUILLES.

L'Angleterre et la Prusse se partagent le monopole de la fabrication des aiguilles; Redditch dans le premier de ces deux pays, Aix-la-Chapelle et Iserlohn dans le second sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les grands centres de production qui fournissent aujourd'hui à l'approvisionnement du monde entier. — Parvenus depuis longtemps à un haut degré de perfection, les fabricants anglais avaient peu de progrès à faire, si ce n'est peut-être au point de vue de l'abaissement de leurs prix de vente; mais il n'en était pas de même des Allemands, qui, très-inférieurs dans le principe, ont, par de persévérants efforts, gagné graduellement du terrain et sont arrivés, dans ces derniers temps surtout, à des résultats vraiment remarquables. La France est restée jusqu'à présent en arrière, et les essais tentés à diverses reprises n'ont jamais abouti d'une manière satisfaisante, ce que l'on peut attribuer en partie au peu de développement de la tréfilerie d'acier dans notre pays, mais surtout aux difficultés que présente toujours le déplacement d'une industrie dans laquelle la main-d'œuvre tient une aussi large place. La qualité de la matière première employée, quelque importante qu'elle soit, n'est ici qu'une question secondaire; il faut avant tout être à même d'organiser des ateliers exercés, ce qui exige un temps considérable et une longue expérience; conditions difficiles à réunir en présence d'une concurrence active et maîtresse du marché; aussi, pendant longtemps encore sans doute l'industrie aiguillière restera-t-elle localisée dans les contrées où elle existe aujourd'hui.

Il y a plus de trois siècles que l'on a des notions sur la fabrication des aiguilles en Angleterre; il en est fait mention pour la première fois sous le règne de Henri VIII, en 1545; mais ce n'est qu'en 1700 qu'on la trouve établie dans la ville de Redditch, choisie sans doute à cause de la proximité de Birmingham, le célèbre et ancien entrepôt de l'industrie sidérurgique. C'est autour de cette ville que s'est groupée et a grandi la population ouvrière qui a poussé l'élaboration du fil d'acier à un si haut degré de perfection.

Cette population n'est pas parquée dans de grandes usines: le travail se partage en petits ateliers installés au domicile de chaque famille, dont les membres ont tous leurs fonctions spéciales;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et les grands fabricants ne sont, en fait, que des négociants faisant travailler pour leur compte un certain nombre de ces petites agglomérations. La tradition du tour de main se transmet ainsi des pères aux enfants, qui, dès leur plus jeune âge, sont initiés aux secrets de la profession, et qui acquièrent une expérience et une habileté qu'un long apprentissage dans les usines du continent ne saurait remplacer. Cette organisation fait, plus encore que la qualité de l'acier employé, la supériorité de la fabrication anglaise; seulement elle a aussi ses inconvénients, en ce qu'elle s'oppose à l'introduction des machines, qui permettent de simplifier les opérations et de réaliser une importante économie de prix de revient.

En Allemagne, où cette industrie est beaucoup plus récente, on n'employait primitivement que du fer cémenté donnant des aiguilles à bas prix, de qualité très-inférieure; Iserlohn était et est resté le centre de cette fabrication à bon marché, qui s'est, du reste, beaucoup améliorée; mais c'est Aix-la-Chapelle qui fournit les produits les plus recherchés. Il s'est fondé dans cette ville plusieurs établissements de premier ordre qui ont formé peu à peu de bons ouvriers et qui, par l'emploi de l'acier fondu tréfilé avec soin, et à l'aide d'un outillage perfectionné suppléant à l'insuffisance de la main-d'œuvre, sont arrivés à livrer des produits comparables à ceux des Anglais. Dans les hauts prix, qui sont en général plus élevés de 3 à 4 francs en Angleterre qu'en Allemagne, la supériorité est restée incontestablement aux aiguilles anglaises; mais les deux productions se balancent pour les qualités moyennes, dont il se fait un grand commerce, surtout en France, dans les prix de 2 fr. 50 à 3 francs le mille, et c'est la Prusse qui prend tout à fait l'avantage lorsque les prix s'abaissent au-dessous de 1 fr. 50; aussi les marchés de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, points d'exportation d'une importance considérable, lui sont-ils maintenant acquis en grande partie.

Parmi les principaux fabricants allemands, nous citerons M. Schleicher, de Bellevallée, près Langerwehe, que nous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avons regretté de ne pas voir figurer à l'Exposition, et MM. Printz et Cie, d'Aix-la-Chapelle, auxquels on doit l'invention de la plupart des machines utilisées aujourd'hui dans la Prusse rhénane. Ces machines, qui réduisent la main-d'œuvre dans une proportion notable, rendent à ce genre d'industrie les plus grands services, et sans vouloir les énumérer toutes, il convient au moins d'indiquer quelques-unes des plus intéressantes : telles qu'une machine à couper et à dresser les tiges, remplaçant avantageusement la cisaille à levier utilisée en Angleterre, des machines à polir, à laver et à sécher, à bronzer les têtes par le gaz; enfin diverses machines à empointer, permettant d'apporter à cette opération autant de précision que de rapidité. Après les industriels qui précèdent, on peut mentionner encore comme honorablement connus MM. Lammertz, d'Aix-la-Chapelle, et Dubois, de Düren, dont les aiguilles sont d'excellente qualité, ainsi que M. Lisser, de Berlin, qui s'est adonné tout spécialement à la fabrication des aiguilles pour machines à coudre.

Les maisons anglaises dont les produits ont été le plus appréciés sont celles de MM. W. Boulton et fils, Kirby Beard et Cie, W. Bartlect et fils et Milward, Henry et fils, toutes les quatre situées à Redditch; les deux dernières exposaient également des hameçons fabriqués avec une grande perfection; nous citerons aussi MM. G. Townsend et Cie, de Redditch, dont la vitrine renfermait un assortiment remarquable d'aiguilles, de navettes et de bobines pour machines à coudre.

En somme, les usines prussiennes comptent environ 4,000 ouvriers et fabriquent 3 milliards d'aiguilles ; en Angleterre, il y a près de 5,000 ouvriers pour une production qui ne paraît pas excéder 2 milliards et demi.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VII.

FERRONNERIE, BOULONNERIE, ETC.

L'on comprend, en général, sous le nom de ferronnerie les pièces en fer forgé de petites ou de moyennes dimensions, fabriquées soit à la main, soit par des procédés mécaniques; ces objets se divisent en deux catégories, la première renfermant les gros outils de forge, certains outils de culture et de terrassement, les fers à cheval, les fers à repasser, etc.; l'autre, les ferrures spéciales employées dans les professions qui travaillent le fer et le bois.

§ 1. — Ferronnerie.

Nous passerons rapidement sur la première catégorie, qui ne figurait dans la classe 40 que d'une manière incomplète et qui ne présentait que peu de faits nouveaux. C'est surtout dans la Loire, dans les Ardennes et dans les départements de l'est que se fabrique, en France, la grosse ferronnerie; cette industrie y a fait, depuis plusieurs années, de notables progrès, principalement en ce qui concerne les outils de forge; aussi avons-nous regretté qu'un plus grand nombre de spécimens ne vînt pas témoigner des résultats obtenus. Nous mentionnerons d'abord, pour leur bonne disposition et leur parfaite homogénéité, les enclumes de MM. Bellard et C^ie^, de Saint-Étienne, maison importante qui a pris, en peu de temps, un développement considérable et qui est renommée entre toutes pour la bonne qualité de ses produits; MM. Bellard exposaient en même temps des étaux, des marteaux, des soufflets de forge, d'une bonne exécution, et des pioches à œil tourné, sans soudure, pour lesquelles ils sont brevetés, et dont ils livrent chaque année au commerce d'énormes quantités. Nous avons encore à citer, pour la France, les enclumes de M. Adam, pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

priétaire de l'ancienne maison Cornette, à Metz, et pour l'étranger, les enclumes et les étaux de M. Beckers Damuzeau, de Bruxelles, et de M. J. Körösi, d'Andritz près Gratz, en Autriche.

Nous ne parlerons que pour mémoire des outils d'agriculture et de terrassement, bien que plusieurs pays en aient exposé de nombreux et remarquables assortiments, en fer ou en acier; mais ces instruments de travail rentrent aujourd'hui dans la production des grandes usines à fer, et nous craindrions de faire double emploi en donant ici les détails de leur fabrication; d'ailleurs, ils seront nécessairement examinés avec attention dans les rapports relatifs à l'agriculture. Nous nous bornerons en conséquence à signaler succinctement, dans la section française, les versoirs de MM. Gouvy, de Hombourg, les pelles en tôle d'acier de M. Cailletet, de Châtillon, et les outils divers de MM. Irroy frères, de la Hutte, de M. Daubié, du Blanc-Murger, et de Mme Vve Chavane, de Bains-en-Vosges. Nous renverrons également à d'autres classes l'étude des produits de maréchalerie, qui ne présentent, à notre point de vue, qu'un intérêt secondaire. Quant aux fers à repasser, bien qu'ils donnent lieu à d'importantes affaires, il n'y a rien de spécial à en dire, et ils étaient du reste à peine représentés par quelques spécimens isolés; nous ne nous en occuperons donc pas.

§ 2. — Boulonnerie, visserie.

La boulonnerie, la visserie et les divers genres de ferrures employés dans le charronnage et la carrosserie formaient une partie très-intéressante de l'Exposition. Cette industrie, qui est d'origine éminemment française, a acquis, dans notre pays en particulier, un développement qu'a singulièrement favorisé l'introduction des moyens perfectionnés de mise en œuvre aujourd'hui en usage; dans le département des Ardennes seul, elle occupe plus de 30,000 ouvriers; elle y est répandue jusqu'au fond des campagnes et est exploitée par un grand nombre de fabricants, dont plusieurs sont arrivés à une ré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

putation méritée. L'est de la France, le bassin de la Loire, et la ville de Paris concourent également pour une part considérable à la production, surtout en ce qui concerne la visserie et la boulonnerie proprement dites. L'une des maisons les plus recommandables des Ardennes, celle qui occupe le plus grand nombre d'ouvriers, et qui a introduit dans son assortiment le plus d'articles nouveaux, est la maison Joseph Maré et Girard frères, de Bogny-sur-Meuse, près Château-Regnault; 2,800 tonnes de fer y sont transformées annuellement en ferrures de toute espèce pour voitures et matériel de chemins de fer, boulons, rivets, ferrures de construction, etc. — Dans la même spécialité nous citerons encore MM. Miette, de Braux, et Jubert, de Charleville, puis à Saint-Étienne la maison Thevenet et Boudoint, qui a livré à la marine de grandes quantités de vis de blindage filetées à froid; enfin à Paris, MM. Lecerf et Letroteur, qui fournissent aux ateliers de construction parisiens des boulons et des rivets d'excellente qualité, et MM. Priqueler et Loiseau, qui ont monté récemment des ateliers importants pour la fabrication des vis de blindage et qui sont arrivés dans cette spécialité à une véritable supériorité.

La visserie et la boulonnerie fine sont une des branches de la production si variée de la maison Japy frères, de Beaucourt, dans le Haut-Rhin; ce sont les fondateurs de cette puissante maison qui ont inventé la visserie mécanique et qui ont le plus contribué à son développement. Dans le principe, et jusque vers les premières années de ce siècle, les vis à bois nous venaient d'Allemagne, grossièrement taraudées à la lime; MM. Japy, qui depuis longtemps déjà étaient en possession de grands ateliers d'horlogerie, imaginèrent d'appliquer aux échantillons de toute dimension les procédés qui leur servaient à exécuter les vis microscopiques employées pour les ébauches de montres; ils inventèrent ainsi successivement des machines à frapper et à fendre les têtes de vis et des tours automatiques à fileter qui permirent de fabriquer rapidement et avec une grande perfection des quantités énormes de vis de toute sorte,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en même temps que des boulons, des écrous, des rivets, crochets, pitons, etc., obtenus d'une manière analogue. Aujourd'hui la maison Japy produit, dans cette seule série d'objets, 25,000 grosses de vis diverses, 8 à 10 millions de boulons pour ateliers de construction, charpente, charronnage etc., et 150 ou 200,000 kilogrammes de rivets. Une autre maison française figurait avec distinction à côté des usines de Beaucourt : c'était la maison Viellard et Migeon, de Morvillars, qui exploite avec succès la même spécialité, et dont les produits de tout genre sont justement réputés. L'on doit comprendre encore dans ce genre d'industrie la boulonnerie de précision, qui s'exécute à Paris avec une rare perfection dans un certain nombre d'ateliers, dont les principaux sont ceux de MM. Hilaire Houssaye, Fontenoy et Jourdain.

Les expositions étrangères étaient moins complètes; cependant, en Angleterre, nous avons à signaler une exposition extrêmement remarquable de boulons variés et de rivets, celle de la Société de London Works, à Birmingham (Nut and bolt patent manufacturing company). Ces boulons, de toutes formes et de toutes dimensions, sont fabriqués par des machines brevetées, qui refoulent d'un seul coup la tête des pièces de la plus forte taille, tandis que d'autres machines frappent et taraudent les écrous et tracent les filets des vis; nous avons vu, au nombre de ces produits, des boulons d'une entière régularité qui pesaient jusqu'à 40 kilogrammes.

La boulonnerie belge était représentée par plusieurs exposants avantageusement connus déjà aux expositions antérieures et qui n'ont pas démérité cette fois; nous citerons MM. Nicaise, de Marcinelle, Keyser Rinsfeldt, de Bruxelles, Fondu et Cie, de Braine-le-Comte, et la Société de Viesville. Ces fabricants, comme ceux de France et d'Angleterre, emploient des procédés mécaniques pour l'élaboration de leurs produits. Enfin nous mentionnerons encore un exposant autrichien, M. Brevillier, dont les vis à bois et les boulons étaient comparables aux produits similaires de MM. Japy et Viellard-Migeon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VIII.

QUINCAILLERIE.

La dénomination de quincaillerie est des plus complexes et s'applique à une infinité d'objets très-différents de forme, de dimensions et d'usages, mais qui cependant sont souvent fabriqués dans les mêmes usines, et sont livrés à la consommation par les mêmes intermédiaires. Ces objets sont principalement les ustensiles en fer battu estampé ou embouti appliqués aux besoins de l'économie domestique, les tôles vernies, les fontes émaillées, auxquels il faut joindre les objets en fonte malléable, que l'on fabrique en assez grande quantité, depuis quelque temps, pour remplacer certaines pièces en fer forgé d'exécution difficile et coûteuse. Il conviendrait encore d'y ajouter les crémones, verrous, serrures, charnières, et en général les articles de petite serrurerie, mais ces différents produits ont été plus spécialement exposés dans la classe 65, à laquelle l'examen doit en être renvoyé.

C'est encore la maison Japy, de Beaucourt, que nous trouvons à la tête de l'intéressante fabrication du fer battu; c'est à elle que sont dus les procédés d'estampage, d'emboutissage et d'étamage à l'aide desquels on a obtenu, par des moyens mécaniques, les premiers types de cette branche d'industrie si importante aujourd'hui et si perfectionnée dans ses moyens d'élaboration. C'est en cherchant à obtenir, par l'emboutissage mécanique, des barillets en acier et en fer où pussent se loger les ressorts moteurs d'horlogerie, que MM. Japy imaginèrent d'appliquer l'estampage des tôles aux ustensiles de ménage et de cuisine. Les appareils de ce genre que produisaient à cette époque Wolverhampton et les Ardennes étaient martelés à la main comme la chaudronnerie de cuivre, et présentaient à la surface jusqu'aux moindres traces du travail du marteau. Les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

produits de MM. Japy, obtenus parfaitement lisses grâce aux tours à planer qu'ils firent breveter dès 1823, furent immédiatement accueillis avec faveur et rivalisèrent bientôt avec les ustensiles de cuivre, plus chers et d'un emploi souvent dangereux; leur prix modique ne tarda pas à les vulgariser dans le monde entier.

Le vaste champ qu'offrait à l'application de leurs procédés la variété des usages de l'économie domestique fut habilement exploité par MM. Japy, qui adjoignirent successivement à l'emboutissage de la tôle le polissage, l'étamage, le vernissage et l'émaillage de leurs ustensiles. Aujourd'hui, la poterie en fer battu, grâce à toutes ces améliorations, tend à pénétrer de plus en plus dans les ménages de toutes les classes et dans les administrations publiques. L'usine de la Vischotte, où se fait spécialement cette fabrication, occupe 650 ouvriers et renferme des ateliers spéciaux à chacune des opérations que parcourt l'énorme variété des ustensiles de cuisine et de ménage, pour arriver à l'état d'objets terminés. L'on y trouve réunis les ateliers où l'on découpe la tôle à l'aide de cisailles droites ou chantournantes et de balanciers emporte-pièce, qui fonctionnent avec une grande rapidité et une précision remarquable; ceux où se fait l'emboutissage, soit par pression au balancier, par choc au marteau-pilon, soit par serrage ou pression par excentrique; les fours à recuire; la décaperie; les ateliers des tours à planer, à repasser, à ébarber et à border; les ateliers de montage et d'agrafage, l'atelier de vernissage; l'atelier d'émaillage, où l'on applique l'émail sur la poterie de fer battu d'après des procédés analogues à ceux employés pour la fonte; les ateliers de soudage, etc. La production de ces divers ateliers est par année de 2,500 à 3,000 tonnes d'ustensiles divers qui sont vendus dans le monde entier.

Cette industrie concourt encore à l'ensemble de la production des usines de Beaucourt, par l'utilisation des déchets qu'elle occasionne. Lorsque l'on découpe dans une feuille de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tôle rectangulaire, telle qu'elle vient du laminoir, le disque qui servira à former une casserole, les quatre coins donnent autant de chutes; ces chutes sont employées à faire des palastres, des foncets et les diverses pièces qui entrent dans la composition des cadenas et des serrures en fer; elle servent aussi à fabriquer dans de bonnes conditions des charnières, des rondelles, des viroles, des chaînes de balances, des ressorts de serrures et quantité de menus objets de quincaillerie. A ces déchets s'ajoutent aussi ceux qui proviennent de la fabrication des vis de laiton et des mouvements d'horlogerie, lesquels sont refondus, laminés ou martelés, et fournissent des anneaux, des boutons à vis, des poulies, des roulettes, des cadenas et serrures en laiton, des verrous et targettes, et jusqu'à des objets plus volumineux où le fer et la fonte sont unis au laiton, tels que les pompes à main, les moulins à café, les crochets de porte-manteaux, les marteaux et de nombreux outils.

Ces applications variées augmentent la production annuelle de 4 à 5 millions de pièces diverses. Rappelons en terminant que les ateliers d'horlogerie livrent par an 72,000 douzaines de mouvements de montres et 150,000 mouvements de pendules consommant plus de 9 millions de petites vis, et nous aurons donné une idée de la puissance de cette maison colossale, qui emploie près de 6,000 ouvriers, répartis dans huit usines différentes, et qui présente, comme multiplicité et variété de produits, un ensemble que dans aucun autre pays, même en Angleterre, on ne saurait rencontrer.

Deux autres maisons françaises de l'est exposaient des produits du même genre obtenus par des procédés analogues; c'étaient les usines d'Ars-sur-Moselle, à MM. Karcher et Westermann, et celles de Plombières, à M. Victor de Pruines; l'une des spécialités de cette dernière est la fabrication mécanique des couverts en fer battu, dont elle produit jusqu'à 1,000 ou 1,200 douzaines par jour, et qu'elle vend à un prix fabuleux de bon marché. Nous mentionnerons encore un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

industriel de Paris, M. Girard, inventeur d'un procédé d'étamage dans lequel il supprime l'emploi du suif et le remplace, comme couverture du bain métallique, par le chlorure de zinc. M. Girard exposait des spécimens divers d'ustensiles étamés par son procédé qui paraissaient d'une bonne fabrication.

La Belgique et la Prusse présentaient également un certain nombre d'objets en fer battu d'une belle exécution, ceux surtout de MM. Delloye-Masson, de Bruxelles, et Philippi et Cetto, de Stromberg (Prusse) ; ces produits, obtenus par les procédés français, ont principalement le mérite du bas prix, qui leur permet de lutter sur certains marchés avec ceux de MM. Japy frères, mais ce n'est qu'avec un écart considérable qu'ils arrivent à obtenir la préférence sur une marque toujours recherchée des consommateurs.

Les tôles vernies et les articles qui s'y rapportent ont été de tout temps une des spécialités de Wolverhampton; on a cherché récemment à les reproduire en France, et l'on a obtenu des résultats satisfaisants, mais qui, cependant, n'atteignent pas à la perfection et au fini des articles anglais. Ce genre de travail, dans lequel on comprend la fabrication des cages et celle des plateaux et objets divers en carton ou en papier mâché, décorés de diverses manières, est également fort répandu dans le Wurtemberg, où il a fait depuis longtemps la réputation de plusieurs grands établissements. Nous avons remarqué dans la section anglaise l'exposition très-variée de M. Loveridge, de Wolverhampton, et en Wurtemberg, celles de MM. Deffner, d'Elpingen, et Rau et C^ie^, de Göppingen.

Les fontes émaillées, dont la fabrication s'est singulièrement développée et perfectionnée dans ces derniers temps, étaient représentées par de beaux spécimens en France, en Angleterre et en Prusse; les fontes de M. Clark, de Wolverhampton, employées comme ustensiles de toute espèce, celles de M. B. Baugh, de Birmingham, appliquées surtout aux enseignes et aux plaques indicatives paraissaient de bonne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qualité ; il en était de même des vases émaillés de M. Krause de Berlin, dans la section prussienne, mais la supériorité nous a semblé appartenir à M. Rogeat, de Lyon, qui exposait des échantillons très-variés et de dimensions exceptionnelles, réunissant toute les qualités désirables. L'émail de M. Rogeat a l'énorme avantage de présenter une grande solidité et une liaison intime avec la fonte sur laquelle il est appliqué; ne renfermant pas d'oxydes métalliques, il n'est pas attaqué par les agents chimiques et peut, par suite, être employé utilement pour les baignoires destinées aux bains minéraux, comme pour les cuves et appareils divers servant aux industries de la teinture et des produits chimiques. Citons encore M. Pâris, d'Ivry, près Paris, qui a trouvé le moyen d'appliquer sur la fonte des couvertes vitrifiables à colorations variées, imitant avec beaucoup de succès la faïence et la porcelaine peintes, et pouvant être employées utilement à l'ornementation intérieure des habitations et aux décorations polychromes, aujourd'hui si recherchées.

La fonte malléable, dont nous avons à dire ici quelques mots, est maintenant l'objet d'une production importante qui fournit en Angleterre, en France, en Allemagne et en Amérique une grande quantité de pièces à l'armurerie, à la sellerie, à l'éperonnerie et à la quincaillerie en général. L'exposition la plus remarquable et la plus complète en ce genre était celle de M. Dalifol, de Paris, qui est arrivé par un mode de traitement particulier, et en employant le minerai comme agent réducteur, à faire passer la fonte par tous les états de décarburation intermédiaires, depuis la fonte ordinaire jusqu'au fer doux; des barres tordues à chaud et à froid, des pièces laminées et des outils tranchants, témoignaient de cette diversité de composition et de propriétés.

Les produits de M. Stotz, de Stuttgart, et de M. Warner, de New-Haven, aux États-Unis, exposés à l'état brut, n'avaient ni le poli, ni le fini de ceux de leur concurrent français, mais n'en étaient pas moins l'indice d'une fabrication développée et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bien conduite. Tout récemment, un fabricant de Rouen, M. Trolé, a entrepris de faire des clous pour chaussures en fonte malléable; il en exposait une assez belle collection; seulement, pour être en mesure de se prononcer sur le mérite de cette innovation, il faudrait qu'une plus longue expérience en eût été faite.

Il y a encore divers articles qui se rattachent à la quincaillerie et que nous ne saurions passer sous silence. De ce nombre sont les aciers polis, dont la ville de Birmingham fait un grand commerce, et qui se fabriquent aussi en Allemagne et à Paris; les patins, qui dans certains pays septentrionaux constituent une spécialité importante, les alènes et les poinçons, les goupilles, les chaînes en fer poli, enfin quelques objets en métal estampé d'applications variées, tels que les œillets métalliques, dont un industriel ardennais, M. Bourgeric, est arrivé à perfectionner et à étendre la production par l'emploi de moyens mécaniques ingénieux.

CHAPITRE IX.

TAILLANDERIE.

Nous choisissons plus spécialement ce terme pour désigner les outils tranchants de toute sorte, en acier ou en fer aciéré, qui sont employés dans les diverses professions se rapportant à l'industrie et à l'agriculture.

L'ensemble des produits de ce genre formait assurément, en raison de la variété, de l'importance et de la perfection des spécimens présentés, l'une des parties les plus intéressantes et les plus remarquables de l'Exposition de 1867; il a permis de constater, par l'examen comparatif des groupes nombreux d'objets appartenant aux différents pays, les progrès plus ou moins rapides réalisés par chacun d'eux. Nous sommes heureux de dire que cet examen a été des plus favorables à la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

France, et que le mouvement signalé à l'occasion des expositions précédentes ne s'est point ralenti. Ce mouvement s'est produit tardivement, il est vrai, et ne s'est fait sentir que lentement au début; mais cela tient à ce que pour la France, les conditions n'étaient pas les mêmes que pour d'autres pays, et notamment pour l'Angleterre.

Nous avons parlé plus haut des difficultés considérables qui s'étaient opposées au développement dans notre pays de l'industrie aiguillère; dans beaucoup d'autres industries, et spécialement dans celle qui nous occupe en ce moment, l'on a rencontré des difficultés de même nature : en France, il faut généralement tout créer à la fois et songer, avant de fonder un établissement nouveau, à réunir et à former des ouvriers pour le peupler et l'animer; en Angleterre, au contraire, cette population se trouve toute formée; elle existe dans un certain nombre de centres spéciaux, où elle se transmet, de père en fils, ses procédés et ses secrets de métier, et le plus souvent le patron n'est qu'un négociant, un entrepositaire qui concentre, pour les livrer à la consommation, les produits des ateliers isolés où la division du travail est poussée à ses dernières limites : ce patron peut changer ou disparaître, l'industrie n'en subsistera pas moins; elle est organisée, enrégimentée, en quelque sorte, dans ces corporations ouvrières qui ont été si longtemps la force de cette nation industrieuse.

Ce développement précoce, nos voisins le doivent au génie de leur race, naturellement portée aux applications et à la pratique, à la forme de leurs institutions et à la richesse minérale de leur sol, si libéralement doté par la nature. Alors que les sciences appliquées et les théories économiques étaient encore lettres closes pour la plupart des autres peuples, eux possédaient déjà ce qu'il nous a fallu improviser en quelques années. Ajoutons que, par contre, une fois les premières difficultés surmontées, ce qui avait fait notre infériorité est devenu pour nous un avantage. Là où l'expérience et la pratique font défaut à la masse, les améliorations indépendantes de la main-d'œuvre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ont plus d'influence et sont plus efficaces; car les résistances systématiques d'une tradition qui se change souvent en routine n'y font pas obstacle aux perfectionnements que provoque une initiative intelligente. C'est ce qui a eu lieu en France, où en très-peu de temps les efforts persévérants d'un certain nombre de chefs d'industrie ont produit des résultats très-remarquables.

L'extension donnée à l'emploi de matières premières de qualité supérieure, favorisée par l'abaissement du prix des aciers puddlés et des aciers fondus; la transformation de l'outillage et l'application de plus en plus répandue de machines ingénieuses servant d'auxiliaires au travail manuel; ce travail, amélioré lui-même par une pratique bien dirigée; enfin, et par-dessus tout, les nécessités résultant de la libre concurrence et de la suppression des droits protecteurs, ont permis à l'industrie française de regagner le temps perdu et d'arriver sur bien des points à n'avoir plus rien à redouter de la comparaison avec l'étranger. Nous enregistrons ce fait avec d'autant plus de satisfaction, qu'il est assez général aujourd'hui pour que l'on n'ait pas à craindre de mouvement rétrograde; l'impulsion est donnée, elle sera désormais suivie.

L'étude de la taillanderie peut se diviser en trois sections que nous allons passer successivement en revue, et qui comprennent : la première, les scies et outils tranchants; la seconde et la troisième, les faux et les limes.

§ 1. — Scies et outils tranchants.

Pendant longtemps, les scies anglaises ont été les plus estimées; toutes les grandes scieries s'approvisionnaient en Angleterre, et ce n'est que depuis très peu d'années que l'opinion est revenue sur le mérite d'exécution des scies fabriquées en France, et a rendu à ces produits la justice qui leur est due; en effet, on fabrique aujourd'hui dans plusieurs usines françaises des scies de tous modèles qui ne cèdent en rien comme trempe,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

comme souplesse et comme régularité, aux meilleurs outils de ce genre fournis par les ateliers étrangers. Trois grandes maisons du Bas-Rhin et du Doubs, dont la fabrication variée comprend l'ensemble presque complet des produits de la taillanderie, avaient exposé des scies fort bien exécutées; ce sont celles de MM. Goldenberg, du Zornhof, Coulaux, de Molsheim, et Peugeot Jackson, de Pont-de-Roide; nous avons remarqué surtout la grande scie circulaire de M. Goldenberg et la scie à ruban sans fin et sans soudure de MM. Coulaux et C^ie^; quelques fabricants spéciaux, la plupart de Paris, avaient aussi des spécimens d'une bonne exécution : tels étaient MM. Périn et Mongin, dont les scies de toute forme et de toute dimension sont maintenant fort appréciées.

L'Angleterre s'est malheureusement abstenue d'exposer des scies isolées; nous avons vu cependant dans la section anglaise quelques scies circulaires, mais elles faisaient partie de machines que nous n'avions pas à examiner.

En Amérique, au Canada, où l'exploitation des bois a déterminé la création de nombreuses scieries mécaniques, on fabrique de grandes scies circulaires, par un procédé économique qui simplifie les difficultés de main-d'œuvre, et qui consiste à rapporter les dents de la scie sur un disque en tôle; mais ce mode de fabrication ne saurait être recommandé.

Les outils tranchants divers étaient nombreux et remarquables dans diverses sections, et principalement en France et en Angleterre; nous retrouvons en France les trois maisons dont nous avons parlé tout à l'heure, et dont l'assortiment était des plus intéressants; l'exposition de M. Goldenberg surtout attirait l'attention générale, autant par la variété que par le fini d'exécution des produits qui y figuraient; après ces maisons, que l'on peut considérer comme hors ligne, et qui ont fait faire à leur industrie des progrès qui l'ont mise au niveau de l'industrie anglaise, nous citerons encore M. Gautier de l'Orme-Saint-Gervais, à Paris, qui fabrique de bons outils de grosse taillanderie, et M. Simonin Blanchard, dont les outils de sel-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lerie ont une réputation méritée en France et à l'étranger.

En Angleterre, figuraient au premier rang MM. Burys et C^ie^ et M. Turton, de Sheffield, l'un et l'autre exposant des produits variés en acier fondu, et spécialement des outils tranchants d'excellente fabrication; puis, après eux, MM. Gilpin et C^ie^, de Stafford, renommés pour la supériorité de leurs tarières et de leurs outils divers; enfin, un certain nombre de fabricants recommandables en divers genres, tels que MM. Addis, de Londres, Green, de Sheffield, etc.

En Autriche, nous citerons M. de Wertheim, qui joignait une collection de pièces de serrurerie de premier ordre à une exposition intéressante d'outils montés en bois.

Enfin, en Amérique, nous mentionnerons comme particulièrement intéressante la belle exposition de la Société dite *Douglas axe company*, de Boston, où figuraient un certain nombre d'outils destinés spécialement aux planteurs et aux pionniers du nouveau monde, et présentant par leurs formes et leurs dispositions les conditions les plus favorables aux usages auxquels ils doivent être appliqués. Nous y avons vu à côté des machettes, ou couteaux à cannes à sucre, qui servent à la fois d'armes et d'outils aux planteurs des provinces du Sud, des haches de bûcheron d'une conception fort intelligente, emmanchées d'une manière ingénieuse, qui en facilite le maniement. Ces haches ont généralement un biseau très-obtus, au lieu du taillant mince et affilé de nos outils européens; cela tient à ce que le bûcheron des forêts américaines trouvant difficilement, dans les stations où il s'instale, le moyen de faire réparer ses outils, il les lui faut solides et capables de faire un long service sans s'ébrécher, sauf à nécessiter une force plus grande pour les manier utilement et en tirer bon parti.

§ 2. — Faux.

Les faux, dont la fabrication est une des branches de production les plus considérables de l'Europe centrale, se divi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sent en deux grandes catégories : les faux forgées et les faux laminées, parmi lesquelles on doit encore distinguer les faux minces et légères, se redressant et s'affûtant au marteau, et les faux épaisses et lourdes, s'aiguisant à la meule.

La faux forgée est, par excellence, la faux autrichienne ou faux de Styrie, fabriquée avec les aciers naturels de qualité exceptionnelle que fournissent les admirables minerais de cette province; la faux laminée et aiguisée est spécialement la faux anglaise, type qui s'écarte du premier sous tous les rapports; dimension, poids, maniement, entretien, tout est différent dans ces deux genres d'outils, qui tous deux rendent cependant de bons services; seulement, il faut que chacun soit appliqué au travail auquel il est propre. Dans les immenses et grasses prairies des plaines de l'Angleterre, où l'herbe, épaisse et touffue, n'est mêlée d'aucun corps étranger, le faucheur, armé d'une grande faux soigneusement aiguisée, produit un rendement considérable qu'il lui serait impossible d'obtenir avec les petites faux de Styrie; par contre, les faux anglaises seraient promptement hors de service dans les prairies pierreuses et accidentées du continent, où il est nécessaire que l'ouvrier puisse à chaque instant réparer le tranchant de l'instrument qu'il emploie.

On fait également en Allemagne et en France des faux forgées ou laminées en acier naturel et en acier fondu. Les faux forgées se fabriquent au martinet, à l'aide duquel on martèle un bidon d'acier naturel qui est généralement soudé à une partie en fer; le tranchant est pris dans l'acier, et le fer forme le dos. Les faux laminées sont toutes à dos rapporté, soudé ou ajusté avec de petits rivets.

L'Angleterre n'avait pas exposé de faux, ou du moins ce genre de produits ne figurait que dans les expositions de l'agriculture, où nous n'avons pu l'aller chercher; mais, par contre, l'Allemagne et la France étaient représentées d'une façon très-complète. L'exposition des fabricants styriens et carinthiens ne comptait pas moins de cinquante exposants, en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tête desquels nous devons placer MM. Ch. Weinmeister, de Wasserleit, G. Zeitlinger, de Blumau, et V. Huber, de Randegg; les faux de ces industriels sont célèbres depuis longtemps et s'exportent dans l'Europe entière. A côté d'eux, nous citerons en Allemagne la maison Haueisen, de Stuttgard, qui produit de très-bonnes faux forgées ou laminées, ainsi que des faucilles et des hache-paille de qualité supérieure. La Westphalie a fourni aussi un contingent respectable; la fabrication des faux en acier naturel s'y fait dans de nombreuses usines, mais en général ces produits sont inférieurs à ceux que nous avons cités plus haut.

Quant à la France, elle montrait en première ligne les produits de M. Coulaux, de Molsheim; ceux de M. Dorian Holtzer, de Pont-Salomon, et de M. Talabot, du Saut-du-Tarn : faux forgées ou laminées à dos rapportés, faux aiguisées à la manière anglaise, assortiment complet enfin des spécimens les plus variés et d'une qualité qui ne redoute aujourd'hui aucune comparaison. Les aciers fondus employés par ces importantes maisons sont obtenus avec des fontes de qualité exceptionnelle, et offrent toutes les propriétés qui conviennent le mieux à cette fabrication.

§ 3. — Limes.

Pour les limes, nous n'avons que peu de choses nouvelles à dire : la question de la machine apposée au travail à la main est encore pendante, et il en est de même de la question de la trempe, pour laquelle les divers fabricants sont en désaccord. Ce qui paraît généralement admis aujourd'hui, c'est que si la machine donne de bons résultats pour la taille des petites limes, elle est sans avantage pour les limes de moyennes ou de grandes dimensions, qu'un habile ouvrier exécute à la main plus rapidement et avec autant de régularité. Quant à la trempe, qui pour beaucoup d'industriels constitue un procédé secret auquel est attachée une grande importance,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

elle se fait avec autant de succès au feu, par la méthode ancienne, qu'au bain métallique, comme le pratiquent aujourd'hui quelques fabricants; seulement, il est présumable que cette dernière méthode, qui expose moins la lime à gauchir et qui la tient à l'abri des influences atmosphériques, doit donner lieu à moins de déchets.

C'est dans cette branche d'industrie que la France a réalisé dans ces dernières années les progrès les plus saillants, et ceux que l'on doit remarquer le plus, en raison des difficultés spéciales dont nous avons parlé plus haut; c'est en effet une industrie essentiellement de main-d'œuvre, dont les Anglais avaient depuis longtemps le monopole, et dans laquelle les corporations de Sheffield étaient arrivées à un degré de perfection qu'il semblait impossible d'atteindre. A la tête des industriels énergiques et habiles qui sont arrivés à ce résultat, nous retrouvons encore M. Goldenberg, auquel nous devons attribuer la plus grande part des succès obtenus. Aujourd'hui les limes françaises sont recherchées à l'égal des limes anglaises, aussi bien à cause des aciers employés à leur fabrication qu'en raison de la précision et de la finesse de leur exécution.

Les exposants de limes étaient en grand nombre; parmi les meilleurs nous pouvons citer, en France, après M. Goldenberg, MM. Limet et Lapareillé, Crémière et Boilleau, Taborin, Despret frères, Proutat et Michot, Rémond, Bourse, Bouland, etc., qui sont parvenus, chacun dans sa spécialité, à une grande perfection de travail. MM. Limet et Lapareillé exposaient en outre des aimants en acier trempé, à lames multiples, qui sont employés dans la construction des appareils magnéto-électriques des phares, et qui présentent de sérieuses difficultés de trempe et d'ajustage très-heureusement surmontées.

En Angleterre, MM. Burys et Turton ont soutenu la vieille renommée de Sheffield. En Prusse, on a beaucoup admiré les produits de la maison Mannesmann, de Remscheid, qui, indépendamment de limes grandes et petites, d'une fabrication remarquable, exposait des aciers fondus en blocs, en lingots

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et en barres d'un grain très-fin et d'une qualité exceptionnelle. MM. Mannesmann peuvent être aujourd'hui considérés, sans contredit, comme les premiers fabricants de limes de l'Allemagne, et ils vont de pair avec les industriels les plus éminents des autres pays.

Outre cette fabrication de choix, il se fait en Prusse une quantité notable de limes communes pour l'exportation, qui, malgré leur bas prix, ne sont pas sans valeur et méritent d'être mentionnées. Enfin, en Belgique, nous citerons MM. Robert et de Lambert, tous deux successeurs de la maison Brizard, de Liége, dont ils ont su maintenir l'ancienne réputation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VII

CUIVRES BRUTS ET AFFINÉS

PAR M. J. MARTELET.

L'industrie du cuivre ne présente, au point de vue technique, que peu de faits nouveaux ; les méthodes de traitement de ce métal sont restées les mêmes depuis un certain nombre d'années; elles sont décrites avec détail dans des ouvrages devenus classiques, et il serait sans objet de les reproduire ici ; nous nous bornerons donc à indiquer rapidement, en passant en revue les différents centres de production, les légers changements qui ont pu être introduits dans la disposition de certains appareils d'élaboration. Mais en dehors des procédés ou des théories métallurgiques, il est dans une semblable question un côté qui mérite d'être envisagé attentivement : c'est le côté statistique et économique, dont l'examen présente le plus haut intérêt par les enseignements qu'il fournit sur le développement des forces productives des nations. C'est sur ce point que nous avons à insister le plus particulièrement, et nous croyons devoir le faire avec d'autant plus de soin, que les découvertes, provenant d'explorations incessantes, tendent à modifier plus profondément les données admises jusqu'à ce jour.

Les contrées du nouveau monde sont celles où ces explorations sont de beaucoup les plus actives et les plus fructueuses ; tentées surtout en vue de la recherche des métaux précieux, elles ont fait reconnaître sur toute la longueur de la vaste

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chaîne qui descend des régions polaires, jusqu'à l'extrémité de l'Amérique australe, la présence de richesses métalliques de toute nature, et parmi les gisements ainsi mis en évidence, le cuivre apparaît partout en masses dont la puissance offre un champ inépuisable aux exploitations de l'avenir. Déjà de grands travaux ont été entrepris, et des résultats considérables ont été obtenus ; c'est de ces résultats que nous avons à nous occuper d'abord, en constatant les progrès industriels qui en ont été la conséquence.

§ 1. — Chili.

Nous devons, avant tout, signaler un fait qui présente une importance économique capitale : c'est la création récente d'ateliers métallurgiques nombreux sur des points où, jusqu'à ces dernières années, il n'existait que des exploitations plus ou moins actives ; c'est la transformation sur place, et à l'aide des ressources du pays, d'un minerai riche et abondant, qui subissait précédemment l'intermédiaire onéreux d'une industrie étrangère avant d'être livré à la consommation européenne ; c'est, en un mot, le traitement au Chili même des magnifiques minerais que renferme cette partie du continent américain. Ce fait, qui constitue un progrès manifeste dans l'existence industrielle du pays où il s'est produit, acquiert, à notre avis, une portée toute spéciale quand on considère les modifications nécessaires que sont appelées à subir les relations des peuples entre eux, et le besoin chaque jour plus accusé de substituer un régime rationnel d'échanges directs aux errements commerciaux aujourd'hui en vigueur. Nous ajouterons que, pour la France en particulier, il aura eu les conséquences les plus fécondes, en ce qu'il sera venu affranchir notre industrie nationale du monopole de l'Angleterre et de l'intermédiaire obligé du marché de Swansea, et lui aura permis, au moment où elle n'avait plus à compter sur les droits protecteurs des anciens tarifs douaniers, de soutenir dignement la concurrence étrangère.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les gîtes cuprifères du Chili sont connus depuis longtemps; plusieurs d'entre eux étaient déjà exploités sous la domination espagnole, mais c'est surtout dans ces dernières années que les travaux des mines ont pris de l'extension, et aujourd'hui l'extraction du minerai de cuivre est de beaucoup l'industrie la plus productive et la plus florissante du pays. Les affleurements reconnus sont en quelque sorte innombrables, et l'on ne compte pas moins de 1,668 mines, dont l'exploitation emploie plus de 20,000 ouvriers, et donne un produit annuel de 15 à 16 millions de piastres. Ces mines ont une importance des plus variables : quelques-unes sont considérables et sont exploitées à l'aide de moyens aussi perfectionnés que ceux dont on fait usage en Europe ; d'autres, au contraire, ne sont que des chantiers passagers qui s'organisent surtout lorsque le prix du cuivre est élevé, et qui occupent quelques ouvriers travaillant sous la direction ou pour le compte de l'un d'eux. Les unes et les autres ne sont pas réunies sur un point unique ; elles sont réparties au contraire sur toute l'étendue du littoral de la république, à une distance des côtes qui dépasse rarement 20 à 25 kilomètres, et à portée des meilleurs ports du Pacifique, tels que Caldera, Carrisal, Huasco, Coquimbo, Valparaiso, etc.; les filons qui se rapportent au terrain de transition de la côte renferment tous, à la partie supérieure, des minerais oxydés tels que silicates, carbonates ou oxychlorures, qui passent aux sulfures lorsqu'on pénètre en profondeur. L'exploitation ayant aujourd'hui presque partout franchi cette limite, l'on peut considérer les produits comme consistant à peu près exclusivement en cuivres pyriteux ou panachés de teneur variable, mais toujours d'une grande pureté et exempts d'arsenic et d'antimoine ; ils ne sont pas argentifères, mais ils contiennent accidentellement de l'or, dont le gisement appartient au même terrain.

L'on rencontre plus avant dans l'intérieur, au milieu des terrains stratifiés plus récents soulevés par la chaîne des Andes, d'autres filons également fort nombreux, dont les produits sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

argentifères, mais le minerai s'y trouve mêlé à des pyrites arsénicales, des cuivres gris, des blendes ou des galènes qui en altèrent la pureté. Ils sont aussi d'une exploitation plus difficile, et par suite moins suivie, et en somme les mines du littoral produisent plus des neuf dixièmes du cuivre exporté chaque année du Chili.

Dans le principe, c'était uniquement à l'état de minerai que ce cuivre était transporté en Europe; c'est, nous l'avons dit plus haut, depuis quelques années seulement que l'on a entrepris le traitement sur place d'une partie du produit des mines. Cette entreprise, qu'a favorisée la découverte de gisements importants d'un combustible de bonne qualité, a pleinement réussi; il existe aujourd'hui à proximité de la côte une multitude d'ateliers, parmi lesquels on compte plusieurs usines considérables, où se fait sur une grande échelle l'élaboration du minerai, et dès 1863 plus des trois quarts du cuivre exporté l'était à l'état de cuivre affiné, de cuivre noir ou de mattes cuivreuses.

Les principales usines du Chili sont celles du Guayacan, de Panucillo, de Carrisal, et de Lota situées en général auprès des mines métalliques ou à proximité des gisements de combustibles. Les minerais étant très-purs, le traitement suivi est des plus simples, et quatre ou cinq opérations successives suffisent ordinairement pour les transformer en cuivre métallique.

Les fondeurs chiliens grillent d'abord les minerais, puis ils les fondent et obtiennent une matte enrichie à 50 pour 100 qu'ils appellent régule. Ce régule est de nouveau grillé et fondu, puis soumis à un rôtissage et à une troisième fusion qui donne un cuivre noir, riche à 95 ou 96 pour 100, connu sous le nom de barres brutes. Enfin ces barres sont affinées et produisent des lingots d'excellente qualité. Toutes ces opérations sont exécutées dans des fours à réverbère par la méthode anglaise, et le combustible que l'on emploie est le charbon chilien provenant des mines de Lota et de Coronel, seul ou mélangé avec de la houille anglaise.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'importation de cette dernière au Chili, en 1865, a été de 19,800 tonnes, dont la valeur a été de 158,500 piastres. On a établi en outre tout récemment à Coquimbo une usine spéciale pour la fabrication de l'acide sulfurique et le traitement par voie humide des minerais pauvres : l'acide s'obtient à l'aide du soufre extrait des Cordillères, ou provient du grillage des minerais pyriteux et des mattes, et il sert à attaquer des minerais à gangue quartzeuse, ne contenant qu'environ 33 pour 100 de métal ; on précipite par le fer les dissolutions saturées chauffées à la vapeur, et on fond le cuivre de cémentation dans des fours à réverbère. On utilise également une partie de cette dissolution pour la fabrication du sulfate de cuivre qu'on fait cristalliser dans des chaudières en plomb.

Il ne nous a pas été possible de connaître d'une manière précise le chiffre des divers produits fournis par les usines, mais les renseignements que nous avons pu recueillir nous permettent d'évaluer la production annuelle du Chili à 40 ou 45,000 tonnes, dont ;

5,000 en lingots affinés,
20,000 en barres brutes,
10,000 en régules,

et 10,000 à l'état de minerais, qui renferment en moyenne 25 pour 100 de métal pur et sont envoyés crus en Angleterre ou aux États-Unis. C'est également l'Angleterre qui reçoit les régules et la plus grande partie du cuivre métallique ; une petite quantité est expédiée aux États-Unis, et le reste, 4,000 tonnes environ, arrive directement en France.

Ce dernier chiffre semblera sans doute peu considérable ; il n'atteint pas en effet le quart de la consommation de nos usines, mais l'on ne doit pas oublier qu'il ne représente que l'importation directe ; il serait notablement plus élevé si l'on y ajoutait les cuivres qui empruntent la voie anglaise pour arriver jusqu'à nous. Le fret d'Angleterre en France n'est que de 25 francs par tonne, et comme le transport des marchandises en provenance du Chili est généralement plus cher pour la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

France que pour l'Angleterre, toutes les fois que cette différence dépasse une livre sterling, l'on trouve avantage à expédier par l'Angleterre. C'est ce qui a lieu pour plus des trois quarts de notre consommation ; mais le Chili n'en est pas moins aujourd'hui le principal pourvoyeur des usines françaises, qui sont désormais à l'abri des fluctuations arbitraires imposées autrefois par une industrie monopolisée. Cet avantage compense largement le léger surcroît de dépense résultant de la différence des transports, et place nos industriels dans des conditions qui leur permettent, grâce aux perfectionnements apportés à la fabrication de leurs produits manufacturés, de soutenir victorieusement la lutte jusque sur les marchés de l'étranger.

C'est à l'initiative, à l'intelligence et aux efforts persévérants d'un ingénieur civil sorti de l'École des mines de Paris que sont dus les progrès industriels réalisés au Chili : c'est M. Domeiko, géologue et minéralogiste distingué, établi depuis plusieurs années dans ce pays, dont il a étudié de la façon la plus complète les ressources de toute nature, qui, après avoir, par des recherches bien dirigées, donné aux travaux des mines une vigoureuse impulsion, a su faire comprendre à ses compatriotes d'adoption l'intérêt qu'il y avait pour eux à se faire métallurgistes; c'est lui que l'on peut considérer à juste titre comme le créateur d'une industrie florissante dès son début, et évidemment appelée à l'avenir le plus prospère. C'est également lui qui a eu le mérite d'organiser la remarquable exposition des produits minéraux du Chili, si bien faite pour donner une juste idée de l'incomparable richesse de ce beau pays.

D'aussi éminents services avaient droit à l'estime des hommes éclairés comme à la gratitude des nations industrieuses, et le Jury a su le reconnaître en accordant à M. Domeiko l'une des plus hautes récompenses qu'il lui appartînt de décerner.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 2. — Autres États de l'Amérique du Sud.

Tous les autres États de l'Amérique du Sud sont riches en minerais de cuivre : la République argentine, l'Uruguay, le Brésil dans les provinces de Matto Grosso et de Rio Grande du sud, la Colombie, le Pérou et avant tous la Bolivie, possèdent des mines nombreuses qui pourraient donner lieu à une énorme production ; malheureusement les bras et les capitaux manquent généralement pour entreprendre des travaux sérieux d'exploitation, et il se passera sans doute un temps considérable avant que les contrées sud-américaines aient pris dans l'industrie minérale le rang auquel la nature les a destinées. Nous citerons toutefois dès maintenant comme États producteurs les provinces de la Plata, qui exportent chaque année environ un millier de tonnes de cuivre en barres et la Bolivie, où se trouvent les célèbres mines de Corocoro, bien connues depuis longtemps des métallurgistes européens. Le minerai de Corocoro est un cuivre natif dont la teneur dépasse quelquefois 95 pour 100; il ne renferme aucune substance nuisible, et sa valeur commerciale est considérable ; il était autrefois particulièrement recherché par les usines françaises, dont il formait l'approvisionnement principal, mais il a été aujourd'hui remplacé en grande partie par les cuivres noirs du Chili.

§ 3. — États-Unis.

Après le Chili, le pays où la production du cuivre a eu l'accroissement le plus rapide est l'Union américaine du Nord. L'on connaît les célèbres gisements du lac Supérieur, où le cuivre natif se rencontre au milieu des terrains siluriens les plus anciens en filons ou en amas, sous forme de masses plus ou moins volumineuses, ou de grains engagés dans des gangues terreuses. Ces gisements, dont les plus connus sont ceux de Cliff et de Minnesota, ont déterminé successivement la création d'établis-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sements qui ont acquis en peu de temps une grande importance. Traité primitivement dans la seule usine de Détroit, entre les lacs Huron et Erié, le cuivre natif n'a pas tardé à attirer jusque dans son voisinage immédiat les capitaux et les efforts des métallurgistes ; de nouveaux ateliers se sont installés sur le lac même, à Portage-Lake, à Lake-la-Belle, à Outonogan dans le Michigan, à Cleveland dans l'Ohio, à Pittsburgh en Pensylvanie, et la production, qui était en 1860 de 5,000 tonnes, s'est élevée jusqu'à près de 10,000. En même temps, des minerais d'autre nature et d'autres provenances sont venus se réunir aux premiers et concourir à l'alimentation des usines; des mines nombreuses de cuivre pyriteux ont été découvertes dans divers États de l'Union, principalement dans le Maryland, la Pensylvanie, le Massachusetts et l'État de New-York, et en même temps la navigation des Antilles et du Pacifique a fait affluer sur les marchés du Nord les minerais de l'Amérique du Sud, ceux de Cuba et même ceux de la Californie, amenés comme lest par les navires en retour de San Francisco. Ces derniers minerais, en général sulfureux, sont élaborés surtout dans les usines de Baltimore et de Boston ; leur richesse est des plus variables, et la production à laquelle ils donnent lieu est naturellement irrégulière, mais elle va néanmoins en croissant tous les ans, et elle atteint presque, aujourd'hui, celle qui résulte du traitement des cuivres natifs.

Nous n'avons rien à dire de particulier sur les procédés de traitement, ils sont analysés avec les plus grands détails dans le *Traité de Métallurgie* de M. l'ingénieur en chef Rivot, et l'on n'y a apporté depuis la publication de cet excellent ouvrage que des modifications sans importance.

Les minerais sulfureux sont traités par la méthode allemande ; ils sont d'abord grillés en tas, puis fondus pour matte au four à manche ; la matte, grillée à son tour en cases, est fondue de nouveau au four à manche et transformée en cuivre noir, que l'on affine ensuite au réverbère. Quant aux cuivres natifs, ils sont fondus dans des fours à réverbère où se pratiquent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

également l'affinage et le raffinage, et les scories, qui sont toujours très-riches en cuivre, sont repassées au four à manche. Le cuivre retiré ainsi des scories renferme une quantité notable de fer dont il est absolument impossible de se débarrasser dans l'affinage à cause de l'absence complète du soufre; l'on ne pourrait éliminer ce fer que par l'oxydation, et pour que l'opération fût complète, il faudrait oxyder en même temps une grande partie du cuivre. Il serait facile de remédier à cet inconvénient en mêlant les scories avec des minerais sulfureux, de façon à obtenir d'abord une matte, puis un cuivre noir, renfermant assez de soufre pour permettre dans l'affinage l'expulsion complète du fer; mais les fondeurs du lac Supérieur se sont toujours obstinément refusés à faire intervenir le soufre, qu'ils considèrent à tort comme devant avoir une influence pernicieuse, et ils continuent ainsi à produire, à côté de leurs premières marques qui se consomment dans le pays, un cuivre de qualité très-inférieure qui est en général expédié en Europe.

En somme, les usines de l'Amérique du Nord fabriquent actuellement une moyenne annuelle de 20,000 tonnes environ, dont une grande partie est utilisée sur place. Ce chiffre, qui en quelques années s'est élevé ainsi dans la proportion de 1 à 4, est certainement destiné à s'accroître encore. Presque tous les États de l'Union renferment du cuivre en abondance, ceux de l'ouest surtout, et l'activité américaine ne tardera pas à en tirer parti. La Californie fournit déjà en minerais plus ou moins riches un contingent annuel de 30,000 tonnes, que l'on doit s'attendre à voir augmenter rapidement, et auquel se joindront les produits de l'Idaho, de l'Orégon, de l'Arizona, du Névada, sans parler de ceux de l'Utah, du Colorado, du Nouveau-Mexique, jusqu'ici moins à portée des moyens de communication; et le temps n'est pas loin peut-être où la force des choses transformera la baie de Boston en un nouveau Swansea.

§ 4. — Grande-Bretagne.

La production américaine, en se développant aussi brusque-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment et en arrivant d'un seul jet à ce qu'elle est aujourd'hui, a exercé naturellement une influence marquée sur l'industrie européenne, et, comme l'on devait s'y attendre, de toutes les nations produisant du cuivre, c'est l'Angleterre qui a été la plus profondément impressionnée; elle s'est vu, en effet, enlever à la fois ses principaux débouchés et la plus grande partie des matières premières qui alimentaient autrefois ses ateliers d'élaboration.

Aussi la quantité de cuivre fabriqué dans les usines de Swansea a-t-elle notablement diminué.

L'abstention presque complète de cette branche d'industrie à l'Exposition de 1867 et le manque absolu de renseignements, même approximatifs, sur les quantités livrées au commerce, ne nous permettent pas de donner ici des chiffres précis; mais nous pensons que le chiffre indiqué plus haut pour la production du Chili en cuivre brut ou affiné doit correspondre jusqu'à un certain point à la diminution qu'a subie celle de l'Angleterre depuis quelques années. Ce résultat n'est pas le seul qui se soit produit, et les usines n'ont pas seules supporté le contre-coup de la concurrence américaine. La baisse de prix considérable déterminée par cette concurrence a modifié notablement la situation des mines des comtés de Cornouailles et de Devon, et a provoqué le chômage d'un assez grand nombre de chantiers, en sorte que l'extraction du minerai, qui en 1863 était encore de 214,000 tonnes, a diminué depuis de plus d'un quart.

Enfin ce n'est pas uniquement au point de vue de la quantité que le minerai du Chili fait défaut aux fonderies anglaises, c'est surtout en raison de la qualité. La méthode galloise, très-ingénieuse et très-simple, malgré sa complication apparente, permettait de faire de bon cuivre avec des minerais souvent très-impurs que l'on n'aurait pu traiter nulle part ailleurs, mais le succès de cette méthode était basé précisement sur la grande variété des matières élaborées et sur la qualité exceptionnelle de certaines d'entre elles; or, celles-ci venant à manquer, tout le système est compromis, et il est incontestable que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les procédés de traitement devront être avant peu complétement modifiés, ce qui entraînera le changement du mode d'essai adopté à Swansea, et causera, par suite, sur ce marché une perturbation générale. Ce fait n'est certes pas le premier exemple de la transformation et du déplacement d'une industrie longtemps florissante, mais il est rare qu'il s'en présente d'aussi rapides et d'aussi complets, et il donne la mesure de ce que l'on peut à la fois craindre et espérer de la mise en œuvre des ressources inépuisables dont la nature a si libéralement doté le sol du continent américain.

§ 5. — Autres pays d'Europe.

Après l'Angleterre, les pays producteurs de cuivre sont principalement la Russie, la Suède et la Norvége, l'Autriche, la Prusse, la Turquie, l'Espagne et l'Italie; leur situation a en général peu varié, excepté toutefois pour la Russie, où la découverte récente des gîtes de cuivre natif et de cuivre pyriteux de la steppe des Kirghiz va certainement amener un développement progressif de la production métallurgique. Il y a bien, il est vrai, des raisons de distances et des difficultés de transports qui pourront au début enrayer ce mouvement, mais, par contre, l'existence à proximité des exploitations d'un bassin houiller qui fournit déjà près de 6 millions de kilogrammes par an en assure l'avenir et la durée. Les mines sont situées à 75 kilomètres de l'Irtyche et occupent une étendue d'environ 1,500 kilomètres carrés; le minerai de cuivre, dont la teneur varie ordinairement de 12 à 58 pour 100 et est quelquefois bien supérieure, y est accompagné de minerais de fer et de plomb argentifère; plusieurs gisements sont déjà exploités, et l'on a pu voir au palais du Champ-de-Mars de beaux échantillons de cuivre natif présentés par MM. Nicolas et Alexandre Popoff, en même temps que des minerais divers, des cuivres métalliques, des plombs et des fragments de houille. Jusqu'à présent, en dehors des mines de l'Altaï, qui appartiennent à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'empereur et qui produisent annuellement de 5 à 600 tonnes, la presque totalité des cuivres russes était fournie par les gouvernements de Perm, d'Orembourg et d'Oufa, où se trouvent les mines et usines du prince Paul Demidoff et celles de MM. Alexandre et Nicolas Paschkoff. L'ensemble de ces établissements, dont les produits ont dignement figuré à l'Exposition de 1867, a livré chaque année près de 5,000 tonnes de cuivre à la consommation du pays ou à l'exportation.

Le traitement métallurgique généralement suivi est bien connu; toutefois, on a dans ces derniers temps fait dans l'Oural l'application à la fusion des minerais sulfureux d'un four nouveau imaginé par M. W. Rachette, et destiné, selon son inventeur, à remplacer utilement le fourneau à manche. Ce four, dont le modèle a été exposé dans la section russe du palais, est une sorte de demi haut fourneau de 6 à 7 mètres de hauteur, dont le creuset est formé de plaques de fonte creuse, à circulation intérieure d'eau froide. Sa section a la forme d'un rectangle allongé, sur les grands côtés duquel sont distribuées les tuyères au nombre de 6 à 12; la coulée des scories et du métal se fait en même temps par les deux extrémités.

On peut passer dans un four de ce genre 50,000 kilogrammes de lit de fusion en 24 heures; c'est environ dix fois la quantité fondue dans les anciens fourneaux; mais cette énorme production peut être un embarras plutôt qu'un avantage, si l'on n'est pas parfaitement sûr de la marche régulière de l'appareil et de la composition constante des matières à traiter; car, avec de semblables masses, le moindre dérangement acquiert une sérieuse importance. Le même fourneau a du reste été appliqué dans le Hartz au traitement des minerais de plomb argentifères, et nous ne pouvons que renvoyer, pour plus de détails, au rapport de M. Rivot sur le plomb et l'argent, dans lequel il en est fait une description complète.

Les mines d'Atvidaberg et de Stora Kopparberg, en Suède, celles de Röros en Norvége, et quelques autres moins consi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dérables renferment des minerais d'excellente qualité, qui donnent pour les deux royaumes scandinaves un rendement annuel d'environ 3,000 tonnes.

Les mines et les usines du pays de Mansfeld, qui ont exposé un ensemble des plus intéressants et des plus complets des produits de l'exploitation et du traitement métallurgique, fournissent environ 2,200 tonnes. Ces établissements sont de beaucoup les plus importants de l'Allemagne, dont la production tout entière ne dépasse pas 3 millions de kilogrammes.

L'Espagne donne environ 2,000 tonnes, provenant surtout de la province de Huelva; l'Italie, un millier de tonnes, provenant de la Toscane et de la Vénétie; la Turquie, 1,000 à 1,200 tonnes, tirées de l'Asie-Mineure.

Quant à la France, bien qu'elle compte sur plusieurs points de son territoire ou de ses possesions algériennes un certain nombre de mines de cuivre, la production du cuivre indigène y est presque nulle; il s'y trouve cependant des usines de premier ordre, où les produits manufacturés, de toute nature, sont fabriqués avec une incontestable supériorité; mais ces usines se bornent en général au raffinage et à la mise en œuvre des cuivres bruts tirés de l'Amérique du Sud. Parmi les mines en exploitation, nous avons principalement à citer celles de Chessy et Saint-Bel, dans le département du Rhône, d'où l'on extrait chaque année de 75 à 80,000 tonnes de pyrites cuivreuses; seulement, la plus grande partie de ces pyrites sert à la préparation de l'acide sulfurique et des sulfates métalliques, et la quantité de cuivre fabriquée à Saint-Bel ne dépasse pas une centaine de tonnes.

En résumé, l'on peut évaluer la production annuelle du cuivre dans le monde entier à 75,000 tonnes, chiffre dont les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trois cinquièmes en tant que matières premières sont fournies par le nouveau monde.

Les prix, qui ont subi une baisse considérable depuis plusieurs années, varient aujourd'hui entre 2,000 et 2,500 francs la tonne, avec une différence en moins d'environ un tiers par rapport à ce qu'ils étaient précédemment.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VIII

EXPLOITATION ET TRAITEMENT DES MINERAIS DE PLOMB.

PAR M. L.-E. RIVOT.

Les exploitations des mines métalliques exigent, en général, un temps considérable pour se développer : les progrès réalisés soit dans les procédés suivis, soit dans l'importance de la production, ne sont manifestés que par la comparaison attentive des mêmes exploitations à des intervalles de plusieurs années. La même observation doit être faite pour les ateliers de préparation mécanique et pour les usines. Les modifications que les directeurs font subir aux procédés et aux appareils ne s'appliquent ordinairement qu'à des opérations de détail, et ne changent pas l'ensemble des méthodes adoptées ; et encore ces modifications ne peuvent-elles être acceptées comme des progrès véritables qu'après avoir subi pendant des années l'épreuve de la pratique. Il est très-rare que dans les usines qui comptent une longue existence les anciennes méthodes soient remplacées brusquement par des procédés nouveaux, donnant de meilleurs résultats. Nous avons dû présenter cette observation préliminaire afin de prémunir nos lecteurs contre l'opinion défavorable qu'ils pourraient concevoir en nous voyant citer si peu de progrès dans l'exploitation des mines et dans la métallurgie du plomb. L'industrie a marché certainement depuis l'Exposition Universelle de 1862, mais l'intervalle de cinq années est beaucoup trop court pour que les progrès soient sensibles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous passerons brièvement en revue les exposants qui ont attiré le plus particulièrement l'attention du Jury.

CHAPITRE I.

FRANCE.

Fonderies et laminoirs de Biache-Saint-Vaast, près d'Arras. — L'usine a été fondée en 1846 par MM. OEschger, Mesdach et C^ie^; elle a pris, sous l'habile direction de ces messieurs, une importance constamment croissante. On traite à Biache des minerais de cuivre, de plomb, d'argent et d'or, des cendres d'orfévre, on lamine et on étire les métaux ; on a entrepris depuis plusieurs années, et avec succès, la fabrication des monnaies de cuivre et de bronze. Nous ne pouvons signaler ici que le traitement des minerais de plomb et d'argent.

L'usine reçoit des minerais de plomb de Montepon (en Sardaigne), de Saintein (Pyrénées) , de la Calle (Algérie), etc., et des minerais d'argent de San Salvador (Centre-Amérique). Les minerais de plomb sont presque tous riches en plomb et d'une teneur en argent relativement peu élevée : les minerais les plus riches sont ceux de la Calle, qui contiennent de 64 à 65 pour 100 de plomb, de 135 à 136 grammes d'argent, et 0^g^ 20 d'or aux 100 kilogrammes. Les minerais d'argent du San Salvador rendent à l'essai, en moyenne, 24 kilogrammes d'argent et 260 grammes d'or par tonne.

Les minerais de plomb sont traités différemment, suivant leur richesse en plomb et suivant la nature des gangues terreuses. Les minerais riches, dont la gangue ne renferme pas de quartz, sont traités au réverbère. Les crasses rejoignent les autres minerais dans la fusion au four à manche.

Les minerais à gangues quartzeuses et ceux dont la richesse en plomb est peu élevée sont grillés et agglomérés aux fours à réverbère et fondus dans des fours à manche. Le plomb

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'œuvre est purifié et passe aux chaudières de cristallisation; le plomb riche est coupellé ; les litharges sont revivifiées ou livrées au commerce.

L'usine de Biache se distingue par les soins apportés à toutes les opérations ; on peut la compter parmi celles qui ont su réduire au minimum les pertes inévitables de métaux utiles dans le traitement métallurgique. La valeur des litharges, du plomb, de l'argent et de l'or livrés annuellement par l'usine de Biache est d'environ 1,600,000 francs.

Fonderies de Couëron (Loire-Inférieure). — L'usine a été créée en 1860-61 par MM. Bontoux et Taylor, pour le traitement des minerais de plomb provenant de France et principalement de Sardaigne, et des plombs argentifères achetés en Espagne. Sa position sur les bords de la Loire est très-favorable pour la réception des minerais et des plombs étrangers, et on doit espérer que, dans un prochain avenir, sa production prendra plus d'importance. L'usine traite annuellement de 2,700 à 3,000 tonnes de minerais; elle produit environ 700 kilogrammes d'argent et 2,000 tonnes de plomb.

Les minerais traités jusqu'à présent sont riches en plomb (de 70 à 75 pour 100) et pauvres en argent, et les fondateurs de l'usine ont adopté la méthode anglaise de traitement au réverbère. Il est probable que, d'ici à quelques années, de nouveaux fours seront construits pour la fusion des minerais quartzeux, ou pour le traitement des minerais argentifères, relativement pauvres en plomb, auxquels les réverbères anglais ne sont pas applicables.

Le matériel actuel de l'usine comprend : cinq réverbères ; un four à manche pour le traitement des crasses, quinze chaudières de pattinsonage, et un four de coupelle ; il suffirait largement pour une quantité de minerais beaucoup plus grande que celle actuellement reçue par l'usine.

Société anonyme des mines et fonderies de Pontgibaud

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

(Puy-de-Dôme). — La Société de Pontgibaud a exposé d'énormes blocs de minerai de plomb, un gâteau d'argent d'un volume considérable, et quelques cartons contenant les produits de la préparation mécanique. Le gâteau d'argent attire principalement l'attention des personnes étrangères à la métallurgie ; les ingénieurs examinent avec plus d'intérêt les blocs de minerais, qui constatent l'existence si longtemps contestée de riches mines métalliques en France. Les spécimens de la préparation mécanique ne peuvent pas donner une idé suffisante des opérations auxquelles le minerai sortant de la mine doit être soumis avant d'être livré à la fonderie. Les concessions de la Société sont très-étendues, et les centres d'exploitation sont nombreux ; nous citerons les mines de Roure, Rozier, Pranal, Barbecot, Mioche, Brousse.

Les mines de Pranal et de Barbecot n'ont jamais fourni beaucoup de minerai ; leur exploitation est rendue difficile et même dangereuse par la présence de l'acide carbonique, qui se dégage en abondance de toutes les fissures du terrain. Les exploitations de Roure et de Rozier ont alimenté pendant longtemps la fonderie, mais elles ne fournissent plus actuellement qu'une quantité limitée de minerais. Les magnifiques filons de Mioche et de Brousse ont seuls permis d'élever, dans ces dernières années, la production du plomb et de l'argent au niveau actuel. C'est seulement sur le filon de Brousse que la Compagnie peut compter pour soutenir la production dans l'avenir.

La teneur moyenne des minerais sortant des mines est de 5 à 6 pour 100 de plomb contenant de 270 à 435 grammes d'argent aux 100 kilogrammes. Les mines ont livré, en 1866, 23,400 tonnes de minerais.

Les ateliers de préparation mécanique ont été modifiés à diverses reprises ; la méthode généralement suivie en Allemagne pour la préparation des minerais riches en argent, a longtemps régné sans partage. Depuis plusieurs années les appareils usités en Angleterre ont été introduits dans les lave-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ries. Le travail a-t-il gagné à cette introduction? Les laveries actuelles sont-elles un modèle à suivre, comme le prétendent bien naturellement les directeurs actuels? Ou bien l'ancienne méthode occasionnait-elle des pertes moins élevées? Ce sont là des questions qu'il ne nous appartient pas de traiter ici. Les minerais sont enrichis maintenant jusqu'au rendement moyen de 50 pour 100 de plomb à l'essai. En 1866, les laveries ont produit 3,288 tonnes de minerais, tenant par tonne 515 kilogrammes de plomb et 1ᵏ 357 d'argent.

Les minerais livrés à la fonderie sont grillés au réverbère et fondus au four à manche. Ces derniers fours sont disposés d'une manière spéciale, et chacun d'eux peut passer jusqu'à 20 tonnes de minerai grillé en 24 heures. Le plomb d'œuvre produit par les fours à manche est purifié, et soumis à la cristallisation. Le plomb enrichi passe à la coupelle anglaise, et les litharges sont revivifiées.

La Société de Pontgibaud occupe plus de 900 ouvriers; elle produit de 1,330 à 1,350 tonnes de plomb et plus de 4,300 kilogrammes d'argent.

Cette production est de beaucoup supérieure à celle des autres usines de France qui traitent leurs propres minerais. Nous signalons le fait, sous la réserve qu'on ne doit pas prendre l'importance de la production comme le seul terme de comparaison entre les diverses usines.

Société des mines de Largentière, près de Briançon. — La Compagnie des mines de Largentière exploite, depuis longtemps déjà, un filon de galène riche en argent, et offrant par places d'assez beaux massifs de minerai.

L'exploitation et la préparation mécanique ne présentent aucune particularité. Nous ne parlons de cette mine que parce qu'elle nous offre l'occasion de présenter une observation importante. Les minerais ne sont pas traités sur place; ils sont transportés et vendus à Marseille. Les tarifs adoptés pour l'achat des minerais sont réglés de telle manière, que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les exploitants doivent pousser très-loin l'enrichissement de leurs minerais. Il en résulte pour eux une perte certainement considérable d'argent. Il est, en effet, bien constaté que pour des minerais aussi argentifères (330 grammes aux 100 kilogrammes de plomb), les opérations de préparation mécanique font perdre d'autant plus d'argent que la teneur en plomb des minerais préparés est plus élevée. Pour des minerais analogues à ceux de Largentières, il est de toute nécessité de faire sur place le traitement métallurgique.

Société des mines de Villefort, Vialas et du Rouvergne (Lozère et Gard). — L'exposition de la Compagnie de Vialas ne présente de l'intérêt que pour les ingénieurs s'occupant de l'exploitation des mines métalliques. Les échantillons de minerais ont été choisis de manière à représenter exactement les aspects divers que présentent les veines exploitées dans leurs parties les plus puissantes et les plus riches. Les produits successifs de la préparation mécanique et du traitement métallurgique forment une collection complète, et permettent de suivre les opérations si nombreuses par lesquelles on doit faire passer les minerais pauvres en plomb, mais riches en argent, pour arriver aux produits définitifs, les litharges marchandes et l'argent.

La Compagnie de Vialas a déjà près d'un siècle d'existence. Les travaux d'exploitation ont été poursuivis d'abord dans les environs de Villefort, ensuite à Vialas ; depuis bien des années, les mines de Villefort sont abandonnées, et les travaux concentrés à Vialas. La Compagnie a compris que, pour assurer la continuité des bénéfices, il était indispensable de développer plusieurs centres d'exploitation, et dans un avenir assez rapproché de nouvelles exploitations seront en pleine activité, au Clôt et au Villaret dans l'ancienne concession, à Notre-Dame de Laval, au Moulin, à la Fernet et à Pierremale, dans les concessions nouvelles de Notre-Dame de Laval et du Rouvergne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les micaschistes, dans lesquels se trouvent presque toutes les exploitations, sont coupés par de nombreux systèmes de filons, de veines, de failles et de cassures, qui se voient également dans le terrain houiller et dans les terrains plus modernes du Gard et de l'Ardèche. Les filons les plus puissants et les mieux caractérisés sont stériles, ou bien sont irrégulièrement minéralisés; les seules veines réellement métalliques, dirigées E. 33° N., et plongeant au Nord, sont extrêmement minces; leurs affleurements ne sont souvent que de simples fentes sans remplissage. Les études poursuivies par M. Rivot, ingénieur-conseil de la Compagnie, ont mis ce fait parfaitement en évidence, en même temps qu'elles ont déterminé les âges relatifs des filons, veines, failles et cassures, et les périodes successives des remplissages stériles et des arrivées des minerais.

Le système des veines métallifères E. 33° N. se retrouve dans plusieurs départements : il constitue, pour ainsi dire, un faisceau large de plus de 100 kilomètres, et s'étendant du Rhône jusqu'à Bayonne.

Les études faites à Vialas et les résultats obtenus ont, par conséquent, une très-grande importance ; les explications données sur les caractères des veines métallifères ont déjà rendu et rendront de grands services à l'exploitation des mines métalliques dans cette partie de la France. Ainsi, les nombreux filons métallifères, préparés pour l'exploitation dans les concesssions du Rouvergne, ont été trouvés par M. Crespon, ingénieur de la Compagnie, dans un terrain recouvert de broussailles, dans lequel on n'aurait tenté aucune recherche, si les études des filons de Vialas n'avaient pas dirigé constamment les explorations et les travaux. Ainsi encore dans les concessions de Bédouès, Cocurès, Meyrueis, etc., appartenant à MM. Joly, les études de Vialas ont servi à faire connaître de très-grandes richesses minérales.

Il est certain maintenant que, en adoptant les principes généraux posés par Vialas pour les allures des veines métalli-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fères, on pourra développer, dans le midi de la France, un grand nombre d'exploitations fructueuses.

Nous nous sommes étendu un peu largement sur ce sujet, parce que les travaux de Vialas nous paraissent avoir fait faire un pas considérable à l'exploitation des mines métalliques, et contribueront peut-être à appeler l'attention sur les nombreux gisements que renferme le sol de la France, et qui, bien à tort, sont généralement considérés comme inexploitables.

Les veines exploitées à Vialas sont d'une faible puissance, et contiennent à peine quelques centimètres de minerai; le mètre cube abattu ne renferme pas, en moyenne, 50 kilogrammes de galène pure et environ 200 grammes d'argent. Dans ces conditions, on est obligé d'avoir un développement considérable de travaux préparatoires, afin d'assurer la production sans laisser trop longtemps dans la mine les massifs préparés, et d'apporter les soins les plus minutieux pour éviter toute perte de minerai.

La pauvreté relative des minerais abattus donne une très-grande importance aux opérations du triage et de la préparation mécanique. En suivant les principes adoptés depuis longtemps dans le Harz, on cherche à éliminer le plus possible les matières stériles et à ne bocarder fin qu'une faible proportion des minerais. On obtient, à l'état de minerai riche du triage, de grenailles des cribles, et de sables enrichis au caisson, plus de la moitié des produits livrés à la fonderie.

La teneur moyenne, à l'essai, des minerais préparés est de 36 pour 100 de plomb. On a constaté, par des expériences de plusieurs années, que la perte d'argent est plus forte quand on pousse plus loin l'enrichissement à la préparation mécanique.

Le traitement métallurgique est des plus simples; il comprend seulement trois opérations principales : le grillage; la fonte au four à manche; la coupellation du plomb d'œuvre. Les produits livrés au commerce sont : l'argent, les litharges rouges et jaunes, et le plomb aigre donné par le traitement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

spécial des abstrichs. La production moyenne est de 1,800 kilogrammes d'argent et de 300 tonnes de litharges et de plomb aigre.

Dans un petit nombre d'années, les filons du Rouvergne seront en pleine exploitation, et la production pourra être notablement augmentée.

La Compagnie de Vialas occupe actuellement, tant à Vialas même que dans les travaux nouvellement entrepris, plus de 500 ouvriers.

Algérie. — Le sol de l'Algérie paraît renfermer une assez grande richesse en minerais métalliques, mais les exploitations sérieuses sont en nombre très-restreint. Nous n'avons à citer, pour le plomb et l'argent, que les mines de Gar-Rouban, sur la frontière du Maroc, et celles de Kef-oum-Thiboul, près la Calle, province de Constantine.

Gar-Rouban. — Le gisement de Gar-Rouban est riche en plomb; malheureusement la teneur en argent de la galène est peu élevée, et les transports sont très-onéreux. Ces conditions défavorables ont empêché la Compagnie de donner à ses exploitations l'importance désirable.

Les minerais sont enrichis à la teneur de 65 pour 100 de plomb; le plomb ne renferme que 90 grammes d'argent aux 100 kilogrammes. Le traitement métallurgique se fait sur place, et ne présente rien de particulier. Nous ne connaissons pas la production moyenne en plomb et en argent.

Kef-oum-Thiboul. — Les mines de Kef-oum-Thiboul, plus connues sous le nom de *mines de la Calle*, ont été mises en exploitation peu d'années après la conquête de l'Algérie; elles ont déjà fourni une quantité considérable de minerai riche en plomb et en argent. Le filon exploité est puissant et assez régulier; il a donné, près de la surface, du minerai carbonaté; à la profondeur à laquelle les travaux sont par-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

venus, le filon contient principalement de la galène. Les minerais abattus sont soumis à la préparation mécanique, et enrichis jusqu'à la teneur de 55 à 60 pour 100. Les minerais préparés sont expédiés à Marseille. Les travaux de la mine et de la préparation mécanique occupent 235 ouvriers ; la production moyenne est d'environ 1,200 tonnes, contenant : de 640 à 650 tonnes de plomb ; 1,700 kilogrammes d'argent ; 9 kilogrammes d'or, et une petite quantité de cuivre.

CHAPITRE II.

BELGIQUE.

Plusieurs compagnies exploitent en Belgique des minerais de plomb, généralement pauvres en argent ; ces minerais accompagnent presque toujours les gisements de blende et de calamine. Ainsi, à Corphalie, à Flône, à Engis, on a exploité des amas et des filons contenant de la calamine jusqu'au niveau des eaux de la Meuse, et de la blende au-dessous de ce niveau. Les parties supérieures des gisements ont été travaillées à une époque très-ancienne ; on a enlevé la galène et le plomb carbonaté, en laissant la calamine, qui a été rapidement exploitée de nos jours. Les parties inférieures des gîtes contiennent de la blende, de la galène et des pyrites de fer, irrégulièrement mélangées entre elles et avec des gangues terreuses.

Ces minerais se trouvent en amas au contact du terrain houiller, et en filons, traversant le calcaire et pénétrant dans le terrain houiller. Les deux Compagnies de Corphalie et de la Nouvelle-Montagne exploitent des quantités assez grandes de galène, et produisent du plomb en même temps que du zinc. Les gisements de la Nouvelle-Montagne donnent, en outre, près de 10,000 tonnes de pyrites, qui sont vendues aux fabriques de produits chimiques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous ne nous arrêterons pas aux expositions de ces sociétés ; la production du plomb n'est pour elle qu'un accessoire, et nous ne parlerons que du Bleyberg, qui produit principalement du plomb et de l'argent.

Société des mines de Bleyberg et Montzen. — L'exposition du Bleyberg attire les regards par l'art avec lequel les produits sont disposés ; elle ne donne cependant qu'une bien faible idée de l'importance de la production ; elle n'indique pas les grandes difficultés que la Compagnie a dû surmonter, à force d'argent et de persévérance, pour arriver à son état actuel de prospérité.

La Compagnie du Bleyberg exploite depuis plus de vingt ans un filon très-puissant, qui traverse le terrain houiller, et passe en plusieurs points sous une rivière très-large. Le filon a été anciennement exploité ; on dit que les anciens travaux remontent à l'époque de la domination romaine. Lorsque, de nos jours, on a cherché à reprendre l'exploitation, on a eu à lutter contre des quantités énormes d'eau faisant irruption par les anciens travaux. Il a fallu installer des machines d'épuisement, d'une force et de dimensions jusqu'alors inusitées dans les exploitations de mines métalliques. Après bien des années de luttes, le succès a couronné les efforts de la Compagnie, et la production annuelle s'élève maintenant à 10,000 tonnes de galène.

Le filon présente de nombreux renflements, dans lesquels sa puissance atteint 8 mètres et plus. Il contient de la galène et de la blende, tantôt séparées assez nettement, tantôt mélangées d'une manière très-intime. Une partie du minerai peut être livrée sans préparation aux usines, mais une autre partie doit passer aux opérations successives d'une préparation mécanique très-perfectionnée.

La galène est peu argentifère, car elle donne du plomb à la teneur de 16 grammes aux 100 kilogrammes. Les minerais livrés à l'usine rendent à l'essai plus de 72 pour 100 de plomb ; ils

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sont tous traités au four à réverbère. Le plomb d'œuvre est pattinsonné. La production de l'usine est d'environ 7,000 tonnes de plomb et de 1,100 kilogrammes d'argent. Le plomb provenant des minerais du Bleyberg est renommé en Belgique pour sa douceur et sa pureté.

CHAPITRE III.

PRUSSE. — ÉTATS DU NORD DE L'ALLEMAGNE.

La Prusse et les États du nord de l'Allemagne possèdent de nombreuses exploitations de minerais de plomb et des usines très-vastes, parfaitement dirigées, pour le traitement de ces minerais. Presque toutes ont envoyé à l'Exposition des collections bien complètes des minerais, des produits de la préparation mécanique et du traitement métallurgique.

Nous nous bornerons à citer, pour la plupart de ces expositions, la production en plomb et argent, et le nombre des ouvriers employés ; nous insisterons seulement sur les usines du Harz et sur celles de Freyberg. Nous choisissons ces usines non pas seulement en raison de l'importance de leur production, mais encore parce qu'elles sont depuis longtemps en tête de la métallurgie allemande, par les progrès incessants qu'elles font faire au traitement des minerais de plomb argentifères.

Usine d'Ems. — L'usine traite des minerais de plomb exploités à proximité ; elle produit :

Argent.....	2,600 kil.
Plomb et litharges.....	2,800 tonnes.

Les mines d'Ems livrent, en outre, 1,500 tonnes de blende et 500 tonnes de minerais de cuivre. Les mines et les usines occupent 1,400 ouvriers.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Société des mines et usines de Holzappel.— Le filon exploité est puissant et bien minéralisé, mais il contient des minerais divers, assez intimement mélangés, ce qui complique beaucoup les opérations de la préparation mécanique. Les ateliers de préparation livrent annuellement de 2,500 à 3,000 tonnes de blende. Les usines de Obernhof et Holzappel produisent :

Argent	de 800 à 900 kil.
Plomb	1,500 tonnes.

Les mines, les ateliers et les usines occupent 1,100 ouvriers.

Compagnie des mines et des usines de Stolberg. — La Compagnie a des mines et des usines à Stolberg et en Westphalie. Les mines de Stolberg ne produisent plus autant que par le passé. Les mines de Brilon, en Westphalie, livrent au contraire de 7 à 8,000 tonnes de minerai de plomb, et de 6 à 7,000 tonnes de blende.

Mines et usines de Westphalie. — Les mines exploitées contiennent en même temps de la galène et de la blende ; les deux minerais sont séparés en partie par le triage, en partie par la préparation mécanique. Les usines produisent :

Argent	1,200 kil.
Plomb et litharges	2,000 tonnes.
Zinc brut	2,400 —

Les mines et les usines occupent 1,900 ouvriers.

Mines et usines de Stolberg. — Les mines exploitées par la Compagnie aux environs de Stolberg ne produisent plus maintenant que 2,400 tonnes de minerais de plomb ; l'usine traite, outre ces minerais, des galènes peu argentifères venant des environs de Commern. L'ancienne usine à zinc est toujours en activité ; elle traite principalement des minerais

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

achetés. La production annuelle des usines de Stolberg est la suivante :

Argent	3,000 kil.
Plomb	10,000 tonnes.
Zinc brut	3,600 —
Zinc laminé	1,400 —

Les mines et usines de Stolberg occupent 1,700 ouvriers.

La Société de Stolberg produit donc, dans ses diverses usines, 12,000 tonnes de plomb et litharges, et plus de 4,000 kilogrammes d'argent.

Société des mines et usines d'Eschweiler. — Les mines contiennent principalement des minerais de zinc; les ateliers de préparation mécanique livrent annuellement 9,500 tonnes de minerais de zinc, et seulement 3,300 tonnes de minerais de plomb. La Société achète une certaine quantité de galène aux mines de l'Eifel. Les usines produisent :

Zinc brut	3,600 tonnes.
Zinc laminé	1,200 —
Plomb	3,600 —
Argent	2,300 kil.

Les mines et les usines occupent 1,600 ouvriers.

Société des mines et usines de Muesen et Cologne. — Les filons exploités contiennent des minerais de plomb et de cuivre, dont le traitement offre quelques difficultés; la production annuelle est la suivante :

Argent	1,500 kil.
Plomb et litharges	750 tonnes.
Cuivre	75 —

Le nombre des ouvriers employés est d'environ 450.

Société des mines et usines de Kirchen (Niederfichbocher

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Gesellschaft). — La Société exploite des filons de galène un peu antimoniale ; elle produit :

Argent	1.530 kil.
Plomb raffiné	950 tonnes.
Plomb antimonial	23 —
Litharges	215 —

Les mines et les usines occupent 500 ouvriers.

Usine royale de Tarnowitz (Friedrichshütte). — L'usine traite la galène exploitée dans la mine royale, auprès de Tarnowitz, et les minerais de plomb qui lui sont livrés par les exploitations des compagnies en Silésie. La production a pris, dans ces dernières années, une très-grande importance ; elle est maintenant de :

Argent	5.000 kil.
Plomb	4.000 tonnes.
Litharges	630 —

L'usine occupe 220 ouvriers.

Mines et usines du Harz.—L'exposition de l'administration des mines du Harz est à la hauteur de la réputation bien méritée que les ingénieurs de ce pays ont su conserver depuis bien des siècles. Plans de mines, collections complètes de tous les minerais, de tous les produits de la préparation et du traitement métallurgique, modèles d'appareils, tout se trouve exposé et classé avec la plus parfaite méthode.

Nous avons peu de choses à dire sur les mines et sur la préparation mécanique : les méthodes d'exploitation, de triage et de lavage n'ont pas varié depuis l'Exposition de 1862, à l'exception des modifications de détail, qui échappent nécessairement au travail que nous rédigeons maintenant. Au contraire, le traitement métallurgique subit en ce moment une transformation complète, qui nous paraît réaliser un progrès considérable dans le traitement des minerais de plomb

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

renfermant de la pyrite de cuivre. Ce progrès dans la métallurgie est comparable, pour son importance, à celui que nous avons signalé précédemment pour la recherche et l'exploitation des filons métalliques de Vialas (France). Nous insisterons spécialement sur la transformation de la métallurgie dans le Harz.

Dans le *Ober-Harz*, des filons nombreux et puissants sont exploités sans discontinuité depuis le XI^e^ siècle. Leur exploitation produit annuellement 100,000 tonnes de minerais à la teneur moyenne de 6 à 7 pour 100 de plomb ; ces minerais sont de natures très-différentes, suivant les districts. Les différences sont relatives à la teneur en argent, à la composition des gangues terreuses, aux mélanges de blende, de pyrite de fer et de pyrite de cuivre. Les mines du district d'Andreasberg produisent en outre des minerais d'argent, en quantité encore fort notable, bien que la richesse des filons soit beaucoup moins grande que par le passé, à la profondeur considérable que les travaux ont atteinte.

Ces minerais passent au triage et à la préparation mécanique ; les produits préparés sont livrés aux usines d'Altenau, de Frankenscharn, de Lautenthal et d'Andreasberg. Les usines reçoivent annuellement 10,000 tonnes de minerais préparés ; la production est de :

Plomb et litharges	5,000	tonnes.
Argent	11.000	kil.
Cuivre	45	tonnes.
Sulfate de cuivre	75	—

Les usines traitent, en outre, des minerais exploités dans les contrées voisines, et en retirent :

Argent	2,138	kil.
Or	28	—

Dans le *Unter-Harz*, l'usine d'Ocker traite les minerais exploités dans la montagne du Rammelsberg ; elle produit annuellement :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Or	4k 50	
Argent	1.000	kil.
Plomb et litharges	400	tonnes.
Zinc	1 50	
Cuivre	250	
Sulfate de cuivre	30	—
Vitriol mixte	250	—
Soufre	20	—
Acide sulfurique	2,500	—

Il est difficile de préciser le nombre des ouvriers qui sont employés dans les mines, dans les ateliers et dans les usines. On peut l'évaluer à environ 8,000 ; mais ce chiffre donne une idée fort inexacte de la situation réelle. Toute la population du Harz tire ses moyens de subsistance des travaux des mines et des usines. L'administration doit assurer l'existence de plus de 50,000 habitants. Cette condition règle d'une manière absolue les travaux de préparation et d'exploitation dans les mines; elle oblige à préparer cinquante ans d'avance les massifs des minerais pour l'abattage, ce qui serait tout à fait impossible dans des mines exploitées par des compagnies. La situation toute spéciale dans laquelle se trouve l'administration des mines du Harz présente des avantages considérables, auxquels ne peuvent pas prétendre les sociétés de particuliers. La continuité de l'exploitation étant parfaitement assurée, les ingénieurs peuvent améliorer lentement et sûrement l'aménagement des eaux et des forêts, les opérations de l'exploitation des mines, de la préparation mécanique et de la métallurgie ; ils peuvent entreprendre ces immenses galeries d'écoulement et de navigation, qui font l'étonnement des ingénieurs étrangers.

Nouveau procédé de traitement métallurgique. — Les minerais exploités dans un grand nombre des filons du Ober-Harz contiennent des pyrites de fer et de cuivre, de la blende et des gangues terreuses, mélangées plus ou moins intimement avec la galène. Le triage à la main et la préparation mécanique ne peuvent pas séparer entièrement la blende et la pyrite

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de cuivre. On doit donc livrer aux usines des minerais riches en plomb, plus ou moins argentifères, contenant une proportion fort appréciable de cuivre. La présence de ce métal exerce une grande influence sur le traitement métallurgique. D'un côté, on enlèverait une grande partie de leur valeur commerciale au plomb et aux litharges, si on laissait passer le cuivre dans le plomb d'œuvre ; d'un autre côté, la valeur du cuivre serait perdue.

Jusqu'à présent on avait cherché à résoudre le problème en multipliant les opérations, fontes de réduction et grillages des mattes, les mattes successivement obtenues étant de plus en plus pauvres en plomb et en argent, et de plus en plus riches en cuivre. La solution était défectueuse ; les nombreuses opérations occasionnaient une perte assez forte de tous les métaux, et une grande consommation de combustible ; de plus, une partie du plomb obtenu contenait du cuivre, et les litharges qu'on en retirait étaient d'un placement difficile dans le commerce.

M. Bergrath Koch a proposé dernièrement un procédé de traitement entièrement nouveau, qui a déjà donné les meilleurs résultats.

Le traitement comprend les opérations suivantes :

1° Fonte des minerais mélangés avec des scories de cuivre, et avec des scories du traitement, donnant comme produits :

De 92 à 94 pour 100 du plomb et de l'argent contenus dans les lits de fusion ; le plomb d'œuvre n'est pas notablement cuivreux ;

Une matte, tenant de 5 à 10 pour 100 de plomb, un peu d'argent, et environ 3 pour 100 de cuivre ;

Des scories très-pauvres, qui sont jetées ou employées comme fondant dans le traitement des mattes cuivreuses ;

2° Grillage de la matte : les gaz contenant une forte proportion d'acide sulfureux sont conduits dans des chambres de plomb, et servent à la fabrication de l'acide sulfurique ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

3° Fonte au four à manche de la matte grillée; elle donne :

Du plomb argentifère, peu cuivreux ;

Une matte contenant 12 pour 100 de cuivre et un peu d'argent ;

Des scories qui sont jetées ;

4° Les opérations suivantes ne donnent plus de plomb ; elles constituent le traitement pour cuivre. Elles comprennent une série de grillages en cases et de fontes au four à manche ; elles donnent, comme produit définitif, du cuivre noir argentifère. Les scories obtenues dans les fontes sont repassées dans la fonte des minerais ;

5° Affinage et traitement pour argent du cuivre noir. Le cuivre noir est affiné rapidement, et ensuite dissous dans l'acide sulfurique ; l'argent est précipité par le cuivre, le cuivre lui-même est ensuite précipité par le fer.

6° Pattinsonage du plomb d'œuvre, et coupellation du plomb enrichi. La coupellation est faite dans les anciens fours ; les litharges sont pauvres en argent et peuvent être livrées au commerce.

L'opération capitale de ce procédé métallurgique est la première fonte des minerais ; elle est faite dans des demi-hauts fourneaux à deux ou à trois tuyères, ou bien dans un four à dix tuyères, du système que le général Rachette a proposé dans l'Oural pour la fusion des minerais de cuivre. Le combustible employé est le coke. La forme, les dimensions et le nombre des tuyères des fours employés ont une importance beaucoup moindre que la composition des lits de fusion. Nous pensons, pour ce motif, devoir donner la composition de ces lits. Ils sont composés de :

100 minerais de plomb non grillés ;

100 scories cuivreuses de l'usine de Ocker ;

De 30 à 60 scories cuivreuses du traitement.

Les minerais de plomb contiennent :

60 pour 100 de plomb ;

De 1/2 à 1 pour 100 de cuivre ;

De 5 à 25 pour 100 de quarz ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Un peu d'argile, de calcaire et de blende.

Les scories de cuivre de Ocker sont très-peu siliceuses; elles renferment :

Jusqu'à 66 pour 100 de protoxyde de fer ;

De 1 1/4 à 1 1/2 pour 100 de cuivre ;

Quelques grammes d'argent aux 100 kil.

Les scories du traitement sont un peu moins riches en oxyde de fer ; elles contiennent, en moyenne, 1 pour 100 de cuivre.

Il est facile de comprendre, d'après ces détails, les réactions qui ont lieu dans la fusion d'un pareil mélange, dans des fours dans lesquels l'action réductrice est très-énergique.

L'oxyde de fer des scories basiques est réduit en grande partie ; le fer, très-divisé, agit sur le sulfure de plomb des minerais. Presque tout le plomb se sépare à l'état métallique, en entraînant une proportion correspondante de l'argent ; la totalité du cuivre des lits de fusion se concentre dans une matte très-chargée de fer, avec le reste du plomb et de l'argent. La netteté plus ou moins grande qu'on obtient dans la séparation du plomb et du cuivre dépend donc de l'accord qu'on parvient à établir entre les deux actions successives : réduction de l'oxyde de fer des scories ; précipitation du plomb par le fer. Cet accord est obtenu d'une manière remarquable dans le Harz, et les résultats du traitement sont très-satisfaisants.

La consommation de coke est de 33 pour 100 de minerai dans la première fonte, et de 27 à 28 pour 100 de minerai dans les différentes fontes des mattes. La perte totale de plomb ne dépasse pas 4 pour 100 (d'après les teneurs indiquées par les essais ; on retire à peu près exactement tout le cuivre et tout l'argent contenus dans les minerais et dans les scories.

Usines royales de Freyberg (Saxe). — Les deux usines de *la Mulde* et de *Halsbrücke* achètent tous les minerais exploités dans les nombreuses mines des environs de Freyberg, et enrichis dans les ateliers de préparation mécanique. Les minerais sont de nature très-diverse ; ils contiennent presque tous du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plomb, du zinc, du cuivre, de l'argent, de l'or, du nickel, du cobalt et du bismuth.

La teneur moyenne des minerais traités en 1862 a été :

Par tonne.	Argent.....	0k 8838
—	Plomb.....	161k 60
—	Cuivre.....	2k 50
—	Or, bismuth, nickel, cobalt, en très-minime proportion.	

Le traitement de minerais aussi complexes offre de grandes difficultés ; elles sont surmontées très-heureusement par le procédé adopté depuis près de dix ans. Nous n'avons pas à décrire, même brièvement, le procédé de traitement métallurgique de Freyberg ; la description bien complète a été publiée récemment dans les annales des mines par M. l'ingénieur Carnot.

Les deux usines reçoivent de 27 à 28,000 tonnes de minerais ; elles occupent de 750 à 800 ouvriers ; elles produisent annuellement :

Argent.....	24,000 kil.
Plomb et litharges.....	3,500 tonnes.
Cuivre.....	67 —

La production de l'or, du bismuth, du nickel et du cobalt est un peu variable, mais généralement faible.

On remarque, à l'exposition des usines de Freyberg, un petit lingot d'un métal nouveau, l'*indium*, extrait de la blende livrée aux usines. L'indium est plus blanc et plus brillant que le zinc, dont il se rapproche beaucoup par l'ensemble de ses propriétés; il n'a été obtenu jusqu'ici qu'en quantité très-faible; on ne peut pas encore prévoir s'il aura des applications industrielles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE V.

PORTUGAL.

Les travaux de recherche des filons de galène, pauvre en argent, ou argentifère, commencent à prendre en Portugal un certain développement, et il est probable que, dans un avenir peu éloigné, plusieurs exploitations seront en pleine activité. L'industrie du plomb n'est représentée à l'Exposition Universelle que par les mines de *Braçal* et *Malhada* (département de Aveyro).

Mines et usines de Braçal et Malhada. — Le directeur, M. Feuerheerd, a envoyé à l'Exposition des échantillons des minerais, les collections des produits de la préparation mécanique, et des saumons de plomb obtenus à l'usine.

On exploite des filons assez nombreux, généralement peu puissants, qui traversent les schistes talqueux ; les minerais abattus contiennent de la galène, de la blende, des pyrites, du quartz et du carbonate de chaux. Ces minerais sont soumis au triage et à la préparation mécanique ; la méthode et les appareils adoptés pour ces opérations sont analogues à ceux du Harz.

L'enrichissement peut être poussé très-loin, car la galène est pauvre en argent. A l'usine, on suit la méthode de Stolberg.

Les ateliers de préparation mécanique livrent à l'usine environ 6,500 tonnes de minerai à la teneur moyenne de 70 pour 100 ; la production de l'usine est de 4,000 tonnes de plomb, et de 800 kilogrammes d'argent.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VI.

ANGLETERRE.

Les usines anglaises, si nombreuses et si importantes, n'ont pas pris part au grand concours international de 1867; nous sommes donc obligé, bien à regret, de suivre leur exemple, et de ne pas parler des procédés de traitement métallurgique adoptés en Angleterre pour les minerais de plomb. Nous n'avons à citer que les plans des mines de M. Beaumont, dans les comtés de Northumberland et de Durham, exposés par M. l'ingénieur Sopwith. Nous avons remarqué dans les vitrines une collection bien faite des produits de la préparation mécanique.

Ces mines sont les plus importantes de l'Angleterre, et fournissent une grande partie des minerais livrés aux usines.

La production totale des mines anglaises est de 90,452 tonnes de minerais préparés, enrichis à la teneur de 78 pour 100.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IX

ZINC

PAR M. EDMOND FUCHS.

CHAPITRE I.

RÉSUMÉ HISTORIQUE.

De tous les métaux usuels produits par la grande métallurgie et donnant lieu à un vaste mouvement industriel, le zinc est assurément de beaucoup le plus récent. On en connaissait, il est vrai, depuis longtemps les minerais, notamment la calamine, dont la présence et l'exploitation dans les gîtes de la Vieille-Montagne (Altenberg) sont déjà signalées par des annales du duché de Limbourg, remontant à 1425.

Mais le zinc à l'état métallique, bien qu'entrevu dès cette époque par quelques alchimistes, et notamment par Paracelse, qui le prépara et en fit la description, était industriellement encore inconnu, et on se servait uniquement de la calamine pour la mélanger, dans des proportions déterminées, à du cuivre rouge fondu, opération qui donnait un alliage de zinc bien connu, le *laiton*.

C'est à Stolberg que cette fabrication était principalement concentrée, et, de 1425 à 1805, les *laitonniers* de cette ville absorbèrent, pour la production de leur alliage, la presque totalité de la calamine produite par l'exploitation de la Vieille-Montagne. L'expérience leur avait appris, du reste, à donner

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la préférence à la calamine blanche (exempte de fer), et c'est au soin avec lequel ils choisissaient cette dernière que leur industrie dut la réputation dont elle a joui pendant quatre siècles.

A partir de 1780, un chimiste liégeois, l'abbé Dony, fit dans le laboratoire une série d'essais en petit, dans le but d'isoler le métal que renfermait la calamine ; mais ce n'est qu'en 1805, après vingt-cinq années de recherches patientes, que, par une circonstance toute fortuite, ses efforts furent couronnés de succès. Il traitait le minerai dans un petit four à réverbère, cherchant, mais en vain, à obtenir sa réduction par simple voie de fusion. Supposant, bien à tort, que le motif de son insuccès était dans le manque de chaleur, il eut l'idée de mélanger à la calamine du charbon pulvérisé ; puis, pour mieux observer les réactions qui se passaient à l'intérieur du four, il pratiqua, dans la paroi de ce dernier, une ouverture dans laquelle il plaça un pot à fleurs, qui faisait saillie en avant du massif.

Regardant alors à travers le petit trou percé dans le fond de ce pot, il vit, à son grand étonnement, le métal se condenser, sous forme de gouttelettes, dans cette espèce d'allonge qui échappait à la température élevée du four.

Le zinc était trouvé, et la conquête était d'autant plus complète qu'elle embrassait en même temps la métallurgie du métal nouvellement découvert. La méthode belge et le four liégeois ne sont en effet que des perfectionnements du procédé et du petit fourneau de l'abbé Dony, dans lesquels la sole unique est remplacée par une série de cornues horizontales, encastrées par leurs extrémités au-dessus d'un foyer dans un massif commun, recevant le mélange de minerai et de charbon, et où le pot à fleurs primitif a fait place à une série d'allonges mobiles, qui forment le prolongement extérieur des cornues, et dans lesquelles le zinc vient se condenser. Ces substitutions furent faites par l'abbé Dony lui-même, et tous les perfectionnements métallurgiques appliqués au four liégeois

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

se sont bornés à des augmentations successives dans les dimensions et dans le nombre des cornues et de leurs allonges.

A la même époque, et presque simultanément, une découverte analogue à celle de l'abbé Dony avait lieu en Silésie, où les travaux de recherche exécutés pour l'étude du bassin houiller de Tarnowitz avaient révélé l'existence de puissants gisements de calamine.

Les études entreprises aussitôt par les ingénieurs pour l'utilisation de ce minerai amenèrent promptement à la conception du four silésien, où la calamine, mélangée avec du poussier de charbon, est introduite dans des moufles placés dans un massif commun. Le zinc réduit s'écoulait originairement, par une espèce de siphon, dans des cavités ménagées dans la paroi antérieure du four; mais cette dernière disposition, qui occasionnait de grandes pertes de métal, est remplacée aujourd'hui par une double série d'allonges, analogues à celles du four liégeois, et dans lesquelles s'effectue la condensation du métal.

Ces deux méthodes, qui n'ont subi l'une et l'autre, depuis leur invention, que des modifications secondaires, sont à peu près équivalentes au point de vue industriel, et se partagent, à l'exclusion de toute autre, les usines à zinc de l'Europe. Il existait autrefois en Angleterre, il est vrai, un troisième procédé de fabrication fondé sur la distillation *per descensum*, mais ce procédé n'a jamais eu qu'une importance secondaire et paraît être définitivement abandonné aujourd'hui.

La première usine métallurgique produisant le zinc a été établie par l'abbé Dony, dès 1807, dans le faubourg Saint-Léonard, à Liége. Elle était alimentée par les calamines du gisement de Moresnet, destiné à un si brillant avenir, et dont l'inventeur du nouveau métal avait obtenu la concession.

Mais il ne suffisait pas d'avoir trouvé le zinc, il fallait lui créer des débouchés, et, pour cela, lui trouver des emplois industriels. L'abbé Dony consacra huit années à obtenir ces résultats; mais, en 1815, ayant épuisé ses forces et ses res-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sources pécuniaires, il dut céder sa concession à la Compagnie Chaulet, qui elle-même vendit, en 1818, tous ses droits à M. Dominique Mosselmann. Ce dernier reprit énergiquement l'œuvre inachevée de l'abbé Dony, et, par vingt années d'efforts ininterrompus, consacrés tant au développement de la fabrication qu'à la vulgarisation des emplois du zinc, réussit à donner à ce métal la place que ses propriétés lui assignaient dans l'industrie. En 1831, il possédait à Saint-Léonard quinze fours de réduction, qui, au lieu des seize creusets initiaux, en renfermaient chacun vingt, et dont la production moyenne s'élevait, pour chaque four, à 200 kilogrammes par vingt-quatre heures. En 1836, il obtint l'autorisation de construire une usine de quarante fours à Angleur, près Liége, et une autre de quatorze fours à Moresnet, sur le territoire neutre, entre la Belgique et la Prusse, et put élever à 2,000 tonnes la production annuelle de ces établissements.

A la mort de M. Mosselmann (1837), ses héritiers formèrent entre eux la Société de la *Vieille-Montagne*, qui, par le développement des trois usines existantes (les deux dernières étaient inachevées), réalisa, dès 1840, une production annuelle de 4,000 tonnes. En 1852, la découverte des blendes du Rhin et l'acquisition d'une nouvelle série d'usines, Flône et Valentin-Coq en Belgique, Borbeck et Mühlheim-sur-Ruhr en Prusse, permirent de donner à la fabrication une impulsion nouvelle et de la maintenir à la hauteur des exigences croissantes de la consommation.

On atteignit ainsi successivement les chiffres suivants :

Production de la Vieille-Montagne.

1852	11,000	tonnes.
1853	16,000	—
1857	20,000	—
1861	25,000	—
1863	27,500	—
1864	28,100	—
1865	30,600	—
1866	31,700	—

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pendant cette même période, l'exploitation des calamines de la haute Silésie et celle des blendes du Rhin croissaient dans une mesure non moins rapide, et les usines dans lesquelles s'effectuait le traitement métallurgique des minerais de ces deux districts livraient au commerce les quantités suivantes :

Production des usines du Rhin et de la Silésie.

1838	10,000	tonnes.
1843	18,000	—
1847	22,000	—
1853	34,000	—
1857	38,000	—
1862	59,763	—
1863	60,312	—
1864	59,264	—

En ajoutant aux productions de ces deux grands centres celles des usines de moindre importance, situées principalement en France et en Angleterre, on arrive, pour la production générale du zinc dans le monde, depuis l'époque où il a pris rang dans la métallurgie, aux quantités suivantes:

Production totale du zinc en Europe.

1846	40,000	tonnes.
1850	50,000	—
1853	62,600	—
1856	71,000	—
1857	79,000	—
1858	90,000	—
1860	98,000	—
1862	100,000	—
1866 Plus de	110,000	—

Jusque vers 1855, les minerais employés provenaient presque exclusivement de la Belgique, des bords du Rhin et de la Silésie. C'étaient de préférence des calamines, les blendes du Rhin n'entrant que d'une manière toute secondaire dans le traitement métallurgique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mais on sait que, par leur nature même, les gîtes calaminaires ne pénètrent jamais à de grandes profondeurs, et leur épuisement commençait à se faire sentir, quand la découverte de nouveaux et importants gisements en Espagne, et celle de puissants filons de blende en Suède, sur les bords du Rhin, dans l'Aveyron, etc., vinrent apporter de nouveaux contingents aux usines. Plus récemment encore, quand ces gisements menacèrent de devenir insuffisants à leur tour, on trouva les vastes amas calaminaires du district d'Iglésias en Sardaigne, dont les plus importants sont groupés entre les mains des sociétés de Malfidano, Monte-Poni, Gonnesa et Iglésias, et s'apprêtent à livrer aux usines des calamines généralement riches et pures, dans une proportion largement suffisante pour contre-balancer, pendant une série d'années, l'appauvrissement des exploitations plus anciennes.

Tout permet donc d'espérer que la métallurgie du zinc pourra, pendant longtemps encore, répondre aux exigences de la consommation, et fournir cette quantité imposante de 100,000 tonnes de zinc que, depuis quelque temps, l'industrie réclame chaque année. Elle correspond, pour le métal brut, à une valeur commerciale de 50 millions de francs, et elle atteint et dépasse même 70 millions, quand on prend le métal laminé et transformé tel qu'il est livré à la consommation industrielle.

CHAPITRE II

ORIGINE, MÉTALLURGIE, PRODUCTION ET CONSOMMATION DU ZINC

§ 1. — Minerais.

1° *Nature des minerais.* — Les minerais servant à la fabrication du zinc sont au nombre de deux seulement : la *calamine,* qui est le carbonate de zinc souvent mélangé de silicate, et le sulfure de zinc ou *blende*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

C'est la calamine qui a été connue et employée la première ; la blende, d'un traitement plus difficile, n'est entrée dans la métallurgie du zinc que vingt années plus tard. Quand l'une et l'autre sont à l'état de pureté, les résultats fournis par la première sont toujours de qualité plus parfaite et un peu plus économiques que ceux que peut donner la seconde.

Les impuretés que renferment les deux minerais, à l'état de mélange ou de combinaison, sont, pour l'un comme pour l'autre, des sels de fer et de plomb. La calamine est, en effet, souvent accompagnée des carbonates de ces deux derniers métaux, et plus fréquemment encore combinée avec eux, de manière à donner naissance à un carbonate complexe. Comme, d'autre part, elle forme quelquefois l'affleurement de gisements, dont soit la blende, soit la galène, soit un mélange de ces deux corps, souvent encore accompagnés de pyrites, occupe le fond, il peut se produire, dans le voisinage de la zone de séparation, des mélanges de calamine et des divers sulfures de la profondeur.

Ce cas se présente en particulier pour une partie des calamines d'Espagne, qui sont fortement mouchetées de galène, et se retrouve dans plusieurs des gisements sardes, où il paraît d'ailleurs être concentré dans des zones spéciales. Son importance augmente, en général, à mesure que l'on s'éloigne des affleurements, les minerais oxydes constitutifs des gîtes calaminaires étant presque toujours plus ou moins brusquement remplacés, en profondeur, par les sulfures correspondants.

La blende aussi se trouve souvent combinée au sulfure de fer, et, en outre, associée aux pyrites et à la galène; à part les filons dont elle forme le remplissage spécial, elle constitue parfois dans certains districts métallifères (tels que le Harz, Freyberg, Przibram, etc.) un simple produit accessoire de l'exploitation de la galène, tantôt rejeté sur les haldes avec la gangue, tantôt isolé par la préparation mécanique.

Ces diverses impuretés exercent naturellement une influence fâcheuse sur le traitement métallurgique et la qualité du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

zinc. Le fer et la silice nécessitent une température plus élevée pour la réduction du minerai, augmentent la proportion de zinc qui reste dans les crasses et avec elle, tout à la fois, les déchets et les frais de fabrication.

Le plomb présente de plus graves inconvénients encore. Il attaque les parois des moufles et des creusets (1) dans lesquels se fait la réduction; se volatilise partiellement avec le zinc et se mélange avec ce dernier, dont il altère la couleur et la malléabilité. On s'en débarrasse, au moins approximativement, en soumettant, avant le laminage, les lingots de zinc brut à une deuxième fusion dans un four à travail continu. Le métal fondu coule dans une pochette placée à l'avant du four, et le plomb se concentre à la partie inférieure du bain, d'où il est enlevé à la fin de chaque opération.

2° *Provenance et distribution des minerais.*—La description complète des gîtes de zinc a été donnée dans le rapport spécial sur les minerais métallifères. Nous nous contenterons donc de rappeler ici qu'ils sont groupés dans un nombre très-restreint de centres, dont la production annuelle peut être approximativement évaluée comme il suit :

(1) On remédie partiellement à cet inconvénient en faisant entrer dans la composition des appareils distillatoires moins de sable quartzeux et plus d'argile; mais on obtient alors un produit plus fragile, plus sujet à la déformation et résistant moins bien au feu.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPES.	PRODUCTION.		
	1862	1864	1866
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Prusse.. Silésie	279,700	240,000	220,900 (1)
Prusse.. Bords du Rhin	46,300	66,400	70,000 (2)
Belgique Blende	17,200	16,310	17,000
Belgique Calamine	48.857	41,757	40,000
Russie (Pologne)	8,000	10,000	12,000
Espagne	42,000	45,000	50,000 (3)
France	2,000	2,400	3,000
Suède (Ammeberg)	542	8,100	11,300 (4)
Sardaigne (district d'Iglésias)	»	»	13,000 (5)
Amérique	11,800	»	» (6)
Italie, Afrique, pays divers	8 à 10,000	8 à 10,000	10 à 12,000

(1) Calamines; en tout 30 mines et 14,500 à 16,000 ouvriers.
(2) Blendes généralement ferrugineuses et plombeuses; 75 mines et 5,000 à 6,500 ouvriers.
(3) Calamines. La production pour 1862 ne comprend pas celle du district d'Albacête.
(4) Pourra être portée à 20,000. Blendes très-pures à Ammeberg.
(5) Les engagements pris pour les années qui vont suivre sont très-considérables; la difficulté des transports, plus encore que celle de l'exploitation, limitera à 40 ou 50,000 tonnes au plus la production annuelle du district d'Iglésias.
(6) La production doit avoir considérablement augmenté dans ces dernières années, à cause des droits d'importation énormes dont le zinc est frappé depuis la guerre civile, mais les renseignements statistiques font absolument défaut.

Ce sont les derniers gisements, les plus récents et les moins exploités encore, qui offrent le plus d'avenir. Le gîte d'Ammeberg, en Suède, peut être pris comme le type des blendes pures, et ceux de Sardaigne fournissent, au moins dans leurs parties superficielles, les seules explorées jusqu'ici, des calamines comparables en pureté à celles de Moresnet et de Tarnowitz.

§ 2. — Métallurgie.

Nous avons déjà vu que la métallurgie du zinc n'avait subi, depuis son origine, aucune modification essentielle. Les méthodes belge et silésienne se partagent encore la production métallique dans les usines et sont souvent, comme à la Vieille-Montagne, employées concurremment, sans qu'il

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soit possible de signaler des différences marquées en faveur de l'une ou de l'autre. La légère augmentation de combustible exigée par le four silésien est à peu près compensée par la diminution de main-d'œuvre, et le prix plus élevé des appareils distillatoires par leur plus longue durée.

Dans ces derniers temps, d'ailleurs, on a profité de la circonstance que la distillation dans les cornues exige une température moins élevée que celle effectuée dans les moufles, pour superposer, pour ainsi dire, les deux méthodes, et établir au-dessus des moufles du four silésien une ou deux rangées de cornues liégeoises. On a pu ainsi augmenter considérablement la production des fours, sans provoquer une augmentation proportionnelle dans la consommation du combustible.

D'une manière générale on peut dire que les efforts faits pour le perfectionnement de la métallurgie du zinc se sont portés plus spécialement sur deux points : l'accroissement de la production des fours et l'abaissement de la consommation de combustible. L'un et l'autre ont été réalisés par l'agrandissement des cornues et des moufles, par l'augmentation de leur nombre dans un même massif, par le traitement des crasses dans des cornues spéciales à la partie supérieure des fours, par le soin extrême apporté dans la confection des récipients où se fait la réduction, par l'utilisation des flammes perdues, soit pour le chauffage des chaudières, soit pour le grillage des blendes. Ainsi les fours silésiens, perfectionnés par la Vieille-Montagne à Valentin-Cocq, reçoivent journellement, dans leurs trente et même quarante moufles, 1,500 à 2,000 kilogrammes de minerai, au lieu de 300 à 400 que pouvaient renfermer les vingt moufles primitifs; de même les fours liégeois, initialement munis de trente cornues, recevant au plus une charge de 200 kilogrammes par vingt-quatre heures, peuvent traiter aujourd'hui, dans leurs soixante-dix cornues, jusqu'à 1,200 kilogrammes.

Les mêmes minerais, qui donnaient un déchet en zinc s'élevant à 40 pour 100 de leur teneur, n'occasionnent plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'une perte de 25 pour 100; et, tandis qu'il y a vingt ans encore, il fallait brûler, par tonne de minerai, 4 tonnes de charbon, cette consommation est réduite aujourd'hui à moins de 3 tonnes, soit presque à la moitié de la quantité initiale.

Dans le but de réduire encore cette dernière, on a fait récemment une série de tentatives pour remplacer, dans les fours silésiens surtout, les grilles ordinaires par de véritables générateurs analogues à ceux des fours Siemens, dont les produits ne sont brûlés qu'à l'intérieur du four même, par de l'air insufflé à l'aide de tuyères spéciales.

Ce procédé, qui est installé dans les usines de M. Garnier en France et dans une partie de celles du pays de Galles et de la Silésie, ne paraît pas encore avoir été consacré définitivement par la pratique, quoiqu'il résolve le problème de l'utilisation de la chaleur d'une manière bien plus satisfaisante que la combustion simple du charbon sur les grilles.

Nous devons dire, en terminant, quelques mots sur les efforts tentés pour diminuer les frais de main-d'œuvre qu'entraîne le grillage des minerais de zinc. Ce grillage s'effectue généralement dans un vaste four à deux et même à trois soles, sur lesquelles les produits de la combustion viennent successivement abandonner leur chaleur; l'ouvrier introduit le minerai à l'extrémité de la sole supérieure, lui fait parcourir lentement la totalité du four, et le retire quand il a séjourné quelque temps dans le voisinage de l'autel.

Dans ces conditions, qui sont celles d'un bon grillage, le minerai est d'abord chauffé, puis grillé avec une énergie croissante à mesure qu'il s'approche du foyer; mais son mouvement exige une main-d'œuvre assez considérable, et, pour diminuer les frais qu'elle entraîne, M. Gerstenhöfer a inventé un appareil qui a été installé avec plus ou moins de succès dans la plupart des grands centres de production du zinc, et qui fonctionne notamment en Angleterre, en Belgique et sur les bords du Rhin.

Cet appareil consiste en une cuve rectangulaire verticale, à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'extérieur de laquelle est placé le foyer et que parcourent, de bas en haut, les produits de la combustion ainsi que l'excès d'air nécessaire au grillage. Le minerai broyé est amené à la partie supérieure de la cuve et versé dans cette dernière par des trémies et un cylindre distributeur. Pour ralentir sa chute, une série de briques longues et minces relient horizontalement les deux faces latérales du four, de telle sorte que le minerai tombe de l'une sur l'autre après avoir séjourné plus ou moins longtemps sur chacune d'elles; enfin, de petits regards, pratiqués au-dessus des extrémités de chaque brique dans les parois du four, permettent à un ouvrier de faciliter et de compléter le mouvement de descente.

L'inconvénient de ce four est de provoquer un grillage moins égal et, par suite, moins parfait que le four ordinaire, sans supprimer tout à fait la main-d'œuvre : on pourrait peut-être y remédier en donnant mécaniquement aux briques un léger mouvement d'oscillation autour d'un axe horizontal. L'expérience n'a d'ailleurs pas encore prononcé son jugement définitif sur ce système, qui continue à être à l'étude dans la plupart des usines où il a été installé.

§ 3. — Centres métallurgiques, production, consommation.

Si la production des minerais de zinc est circonscrite à une série relativement petite de centres d'exploitation, leur traitement métallurgique est concentré dans un nombre d'usines bien plus restreint encore.

Vieille-Montagne. — La Vieille-Montagne, qui a été, comme nous l'avons vu, le berceau de la fabrication du zinc, est aujourd'hui encore le plus fort producteur de ce métal, et sa fabrication atteint presque le tiers de celle du monde entier. La plus grande partie des minerais qui alimentent ses usines est extraite de ses propres mines, situées : en *Belgique,* à Moresnet, sur le territoire neutre (calamine); à Welkenraedt, (calamine, blende et galène); à Flône-sur-Meuse (blende et ga-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lène) ; en *Allemagne* : à Bensberg, Uckerath et Mayen (blende, galène et cuivre), à Wiesloch (calamine) ; en *Suède :* à Ammeberg, près Askersund (blende, minerais de cuivre et cobalt) (1). Le reste, dont l'arrivage régulier est assuré par des marchés à long terme, est fourni par des exploitations étrangères à la Société et situées principalement en Espagne et en Sardaigne.

Tous ces minerais sont transformés en zinc brut et laminé dans les usines de Saint-Léonard, Angleur (près Liége) et Valentin-Cocq en Belgique, et dans celles de Mühlheim-sur-Ruhr et Borbeck en Allemagne. Des laminoirs spéciaux et des ateliers de tréfilerie et autres dénaturations du métal sont établis à Oberhausen, près Mühlheim-sur-Rhur ; à Tilff, près Liége ; à Bray (Seine-et-Oise), et à Sainte-Marie (Seine) ; enfin le métal est transformé en blanc de zinc dans les usines de Valentin-Cocq, Mühlheim, et Asnières, près Paris.

Ces divers établissements exigent pour leur marche une force collective de 2,400 chevaux-vapeur, et n'occupent pas moins de 6,700 ouvriers, ce qui correspond à une population ouvrière totale de 20,500 personnes.

Leur production annuelle atteint aujourd'hui 32,000 tonnes de zinc brut, dont on retire 25,000 tonnes environ de zinc laminé et 5 à 6,000 tonnes de blanc de zinc. Le reste est en grande partie transformé en fontes d'art.

Cette vaste production ne représente pas encore la totalité du mouvement commercial de la Vieille-Montagne, qui, pour répondre aux demandes de la consommation, est obligée de compléter son approvisionnement par des achats qui élèvent le total de ses ventes aux chiffres donnés par le tableau suivant :

(1) Il faut ajouter à ces mines les houillères de Valentin-Cocq, Flône, Colladios, Baldaz-Lalore et Neu-Wesel.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ventes de la Vieille-Montagne.

PAYS	ZINC BRUT.			BLANC DE ZINC.		
	1863	1865	1866	1863	1865	1866
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
France	21,871	21,434	18,273	1,785	2,039	1,832
Angleterre	8,003	7,853	6,129	626	768	974
Amérique	2,832	1,642	2,954	230	290	403
Belgique et pays divers	7,121	6,793	5,165	454	623	791
Allemagne	3,088	3,556	2,667	1,633	2,004	1,770
TOTAL	42,915	41,278	35,188	4,725	5,724	5,770

Les circonstances auxquelles la Vieille-Montagne doit sa prospérité constante se trouvent non-seulement dans la possession de gîtes riches et puissants et d'usines très-bien installées, mais encore dans l'ensemble de ses principes d'économie sociale et de ses institutions ouvrières. Ces dernières ont reçu une éclatante consécration par le prix que leur a décerné le Jury spécial, et sont basées sur un système de primes qui, intéressant tous ceux dont elle emploie le concours, les ingénieurs aussi bien que les simples ouvriers, à l'avancement de l'œuvre commune, lui a procuré un personnel actif, dévoué et jaloux de lui conserver son ancienne prospérité.

Nous devons ajouter que c'est elle qui, en couvrant l'Europe de tout un réseau d'agences, devenues autant de centres de propagande industrielle, et en établissant pour l'usage du zinc un système de primes analogue à celui qu'elle avait adopté pour sa fabrication, a donné à cet usage l'extension énorme qui lui permet d'absorber aujourd'hui une production annuelle dépassant 100,000 tonnes de zinc fondu ou laminé.

Nouvelle-Montagne. — La Société de la Nouvelle-Montagne, dont le siége est à Engis (Belgique), extrait de ses propres mines le charbon et les minerais de zinc et de plomb (calamine, blende et galène) qui alimentent ses deux usines d'Engis et de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Prayon. Elle occupe environ 1,600 ouvriers, et sa production, en 1866, a été de 2,750 tonnes de zinc brut, exporté en grande partie en Angleterre pour la fabrication du laiton, 345 tonnes de zinc laminé (dont 80 tonnes de feuilles à satiner), 300 tonnes de plomb, de petites quantités de cadmium, enfin des minerais de fer et de 8 à 9,000 tonnes de pyrites, produits accessoires de ses extractions et de sa préparation mécanique.

Groupe des usines de la Prusse. — Le groupe des usines qui traitent les calamines de Silésie et une partie des blendes du Rhin sont entièrement concentrées dans les provinces de la Silésie, de la Prusse rhénane et de la Westphalie.

Les principaux établissements dont ce groupe se compose, y compris les usines de Mühlheim et Borbeck appartenant à la Vieille-Montagne, ont donné lieu, dans ces dernières années, au mouvement industriel résumé par le tableau suivant :

Tableau de la production des usines prussiennes.

NATURE des produits.	CENTRES de PRODUCTION.	PRODUCTION DES USINES. 1862	1863	1864	NOMBRE d'usines.	OUVRIERS (en 1864). Hommes.	Femmes et enfants
		tonnes	tonnes	tonnes			
Zinc brut.	Silésie	41,049	39,282	37,561	38	3,687	6,137
	District de Dortmund.	11,596	14,298	14,900	5	1,253	2,789
	District de Bonn	7,118	6,732	6,785	2	457	467
	TOTAL	59,763	60,312	59,246	45	5,397	9,413
Zinc laminé.	Silésie	9,209	10,715	9,081	5	274	660
	District de Halle	37	25	»	»	»	»
	District de Dortmund.	150	»	3,674	1	100	200
	District de Bonn	2,445	2,579	2,657	4	36	99
	TOTAL	11,841	13,319	15,412	10	410	959
Blanc de zinc.	Silésie	970	1,176	858	2	22	43
	District de Dortmund.	1,060	790	1,205	1	»	»
	TOTAL	2,030	1,966	2,063	3	22	43

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les usines de Silésie se répartissent comme il suit la production de 1864 : l'*usine royale de Lydognia*, comprenant vingt-quatre fours à vingt moufles, 1,090 tonnes ; la *Société anonyme des mines et fonderies de zinc de la Silésie*, 8,281 tonnes ; le comte Schaffgotsch (*usine de Godulla*), 7,095 tonnes ; les *héritiers de Gieschen*, 5,672 tonnes ; le *comte Hugo Henkel de Donnersmark* (à Naklo), 5,617 tonnes ; la *comtesse de Tickle Winkler*, 5,072 tonnes ; le *comte Guido Henkel de Donnersmarck*, 1,245 tonnes.

Le plus important de ces producteurs, qui tous emploient la méthode silésienne, avec introduction partielle, comme nous l'avons dit plus haut, des fours à générateurs à gaz, est la Société anonyme des mines et fonderies de la Silésie, dont le mouvement industriel et commercial est résumé par le tableau ci-joint :

	1861	1863	1864	1865	1866
Extraction de calamine.....	63,570t	61,622t	59,673t	68,673t	64,896t
Production de zinc brut.....	11,926t	10,298t	8,284t	8,292t	7,593t
Production de zinc laminé.....	4,888t	6,735t	6,401t	9,031t	7,640t
Fours appartenant à la Société..	279	220	190	190	150
Fours en activité.....	225	208	190	190	150
Prix de fabrication du zinc brut (les 100 kilog.).....	26f 975	26f 325	29f 10	29f 56	30f 00
Prix de vente du zinc brut (les 100 kilog.) à Breslau.....	38f 385	41f 20	51f 915	52f 55	56f 875
Prix du laminage des 100 kilog. de zinc.....	4f 30	2f 90	3f 05	3f 00	3f 00

On voit que la production du zinc, dans ces dernières années, y a sensiblement baissé. Cette circonstance, qui se reproduit, dans une proportion analogue, pour la presque totalité des établissements silésiens, tient à un appauvrissement général dans la teneur des calamines qui les alimentent, et a été exagérée, dans les deux dernières années, par la crise commerciale que les événements politiques ont suscitée dans les provinces du sud-est de la Prusse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les *usines du Rhin* sont représentées avant tout par les trois grandes compagnies du *Stolberg*, de *Lemathe* et d'*Eschweiler*.

La Société du *Stolberg* n'occupe pas moins de 3,600 ouvriers, et possède des mines de charbon, de blende et de galène, ainsi que des usines pour extraire de ces minerais le zinc, le plomb et l'argent. La production annuelle, évaluée d'après la moyenne des années 1863 à 1866, a été : houille, 50,000 tonnes; zinc brut, 6,000 tonnes; zinc laminé, 1,400 tonnes, plomb et litharge, 12,000 tonnes; argent, 3,860 kilogrammes.

La Compagnie *Lemathe* (*Märkisch-Westphälischer-Bergwercksverein*, *Actiengesellschafft*) a produit, pendant la campagne de 1866, 17,000 tonnes de calamine et 800 tonnes de blende lavée, correspondant à 14,000 tonnes de minerai grillé, dont elle a extrait 4,500 tonnes de zinc.

Enfin la Société d'*Eschweiler* a obtenu, dans ses mines et dans son usine de Wilhemshütte, 9,500 tonnes de minerai de zinc, dont elle a retiré 3,600 tonnes de zinc brut, partiellement transformé en 1,200 tonnes de zinc laminé.

Usines de Viviers et de Panchot (Aveyron). — L'intérêt qui s'attache aux usines de M. Garnier tient surtout à ce qu'elles ont résolu le problème de l'introduction de la métallurgie du zinc en France. L'usine de Viviers, fondée en 1858, traite par la méthode silésienne et mixte, avec emploi partiel de fours à gaz, des minerais de provenances diverses, et spécialement des blendes de Fos (Pyrénées), et des calamines de Figeac (Lot), d'Alais (Gard), de Carthagène, de Lorca, de Vittoria et de Santander (Espagne.)

La production annuelle s'élève actuellement à 2,400 tonnes de zinc brut, laminé à l'usine de Panchot, mais les récentes acquisitions de mines et de minerais que son propriétaire a faites en Sardaigne font penser que cette fabrication pourra se développer considérablement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Usines anglaises. — L'Angleterre est relativement pauvre en calamine, mais elle possède de puissants gisements de blende qui, jusqu'à présent, à cause des difficultés spéciales que présente leur traitement, n'ont été que très-imparfaitement exploités. La statistique officielle du royaume pour 1864 constate une production de 18,000 tonnes seulement de minerais, ayant donné 4,040 tonnes de zinc brut. Cette transformation est effectuée en grande partie dans les usines de MM. Vivian, à Svansea, où l'on traite un mélange de calamines d'Irlande et d'Espagne, et de blendes du Cornouailles et du pays de Galles. Ces minerais sont traités concurremment par les deux méthodes belge et silésienne, la seconde étant réservée de préférence aux minerais siliceux. On emploie partiellement, pour l'application de cette méthode, les fours à gaz, avec utilisation des flammes perdues pour le grillage, et l'on est arrivé ainsi à réduire la consommation de combustible à ce qu'elle est dans les fours belges, tout en conservant l'économie de main-d'œuvre et de matériaux réfractaires, qui est le privilége des fours silésiens.

Quant au reste de la consommation anglaise, elle est due à l'importation étrangère, qui lui fournit 22,193 tonnes de zinc brut, et 8,500 tonnes de zinc laminé, dont il faut déduire une réexportation totale de 8,900 tonnes de zinc brut et dénaturé.

Mais cet état de choses est essentiellement transitoire, et MM. Vivian, les plus grands producteurs de zinc de la Grande-Bretagne, montent en ce moment une usine qui, alimentée par les minerais de Sardaigne, permettra d'élever, dans une très-forte proportion, la production anglaise actuelle.

États-Unis d'Amérique. — L'Amérique a été longtemps tributaire de l'Europe pour la totalité du zinc qu'elle consommait. La découverte de vastes gisements de calamine et de blende, dans le district du Tennessee, est venue permettre l'installation d'une production et d'une fabrication indigènes,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et aujourd'hui les deux centres métallurgiques de Leehigh et de Lasalle font une concurrence énergique à l'importation étrangère, et fournissent une fraction notable de la consommation totale. Ce résultat est dû surtout à l'élévation exagérée des droits d'importation dont sont frappés les métaux étrangers depuis la guerre civile.

En résumé, la production et la consommation annuelles du zinc brut, évaluées d'après les résultats de l'année 1866, peuvent être réparties comme il suit entre les divers pays :

Production et consommation annuelles du zinc.

	Production.	Consommation.
France	3,000 tonnes.	35,000 tonnes.
Grande-Bretagne et colonies	6,000	30,000
Belgique	35,500	6,500
Allemagne	60,000	22,000
Amérique	?	4,000 (1)
Hollande	»	3,000
Italie	»	1,500
Russie	3,500	3,500
Espagne et autres pays	2,000	5,000
TOTAUX...	110,000 tonnes.	110,000 tonnes.

La disproportion qui existe encore entre ces divers chiffres montre que la consommation du zinc est loin d'avoir atteint son apogée, et il suffit de comparer la France et l'Angleterre aux autres pays pour voir dans quelles vastes limites cette consommation est susceptible de se développer encore.

CHAPITRE III.

USAGES DU ZINC.

Le zinc est consommé par les différentes industries à trois états différents :

(1) Non compris la production indigène.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A l'état fondu, pur ou allié au cuivre, à l'état de métal laminé, enfin à l'état d'oxyde ou de blanc de zinc.

§ 1. — Zinc fondu.

Le zinc fondu est employé surtout pour la fabrication des ornements et des objets d'art. Cette industrie, dont l'initiative appartient à la Vieille-Montagne, qui avait installé une fonderie spéciale pour les grosses pièces avant l'invention du cuivrage par la galvanoplastie, a pris, depuis la découverte de cette dernière, une très-grande extension. La substitution de moules métalliques aux moules en sable primitifs a puissamment contribué à son développement en diminuant les frais de fabrication, et a permis de réaliser dans l'exécution un fini comparable à celui que présentent les objets d'art les plus soignés en bronze.

Le métal qui sert à cet emploi doit être d'une pureté croissant avec la finesse des empreintes ou des reliefs que l'on veut lui communiquer. On préfère, pour cette raison, le zinc fait avec la calamine, qui présente une douceur et une malléabilité plus grandes que celles du métal extrait de la blende, quelque pure que soit d'ailleurs cette dernière.

Nous n'avons pas besoin d'insister ici sur les nombreux alliages du cuivre et du zinc. Le plus employé de tous est le *laiton* ou cuivre jaune, qui renferme environ le tiers de son poids de zinc. Les autres servent en général pour les objets destinés à être dorés, et renferment toujours un peu d'étain. Ceux qui ont reçu les applications les plus récentes, et en particulier ceux qui sont susceptibles d'être, comme l'or, réduits en feuilles minces, seront étudiés dans le rapport spécial sur les métaux ouvrés.

§ 2. — Zinc laminé.

Près des deux tiers du zinc livré au commerce ont préalablement subi le laminage, et ont été transformés en feuilles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dont les épaisseurs habituelles varient entre $0^{mm}3$ et 3 millimètres. Exceptionnellement et sur commandes spéciales, la Vieille-Montagne fournit des feuilles ayant de $0^{mm}1$ à $0^{mm}3$, et, comme épaisseur extrême, elle a exposé une plaque n'ayant pas moins de 30 millimètres d'épaisseur. Elle fabrique aussi, pour les arsenaux de la guerre et de la marine, des feuilles destinées à la fabrication des ailettes de boulets, et dont l'épaisseur varie de 9 à 12 millimètres.

Le laminage se fait à froid ; car le zinc devient tellement cassant vers 200 degrés qu'on peut le piler dans un mortier, et, d'autre part, la température voisine de 100 degrés, qui paraît être la plus favorable au travail du métal, s'acquiert naturellement par l'opération elle-même et exige tout au plus un petit séjour des lingots sur la partie supérieure du massif du four de fusion. Le laminage augmente sensiblement la densité du zinc, qui n'est que 6.80 à l'état fondu et qui peut atteindre 7.20 quand le métal a été réduit en feuilles très-minces.

On admet en général le nombre 7 comme densité moyenne du zinc laminé, ce qui donne un poids de 7 kilogrammes par mètre carré pour les feuilles ayant 1 millimètre d'épaisseur. Comparé au plomb, dont la densité est de 11.352, on voit qu'à épaisseur égale, son poids n'est que les deux tiers de celui de ce dernier métal. L'avantage est bien plus marqué encore quand on prend pour base l'égalité de résistance, car les ténacités du zinc et du plomb étant représentées par les nombres 1.08 et 2.77, on voit que le zinc est à épaisseur égale quatre fois, et à poids égal six fois plus résistant que le plomb. Aussi les applications du zinc laminé sont-elles très-nombreuses et prennent-elles tous les jours plus d'importance. Nous dirons quelques mots des plus importantes d'entre elles.

Toitures. — L'application du zinc à la couverture des édifices a pris, dans ces dernières années, un très-grand développement, principalement en France, en Angleterre, en Belgi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que, en Hollande, en Allemagne et en Amérique (1). Les avantages que ce métal présente sur tous les autres systèmes de couvertures et les garanties qu'il offre comme solidité, durée, salubrité, sécurité et légèreté, légitiment pleinement l'usage croissant qui en est fait par les gouvernements, les grandes compagnies industrielles et les particuliers.

Le zinc, en effet, se recouvre, au bout de quelques jours d'exposition à l'air, d'une pellicule d'oxyde qui adhère complétement au métal et qui, par son insolubilité complète dans l'eau, rend toute corrosion impossible ; elle assure, en outre, à la couverture une durée, une solidité et une salubrité qu'aucun autre système ne permet de réaliser au même degré. L'ardoise et la tuile exigent des réparations fréquentes et coûteuses; la tôle ordinaire a besoin d'être recouverte de plusieurs couches de peinture, qu'il faut entretenir et renouveler avec soin ; la tôle galvanisée (zinguée) ou plombée s'écaille, par suite de la différence de dilatation des métaux superposés, et se corrode alors rapidement sous l'influence de l'air et de l'humidité ; enfin le plomb et le cuivre se recouvrent de sels vénéneux solubles, qui empêchent l'utilisation des eaux atmosphériques. Le zinc, au contraire, à cause de l'insolubilité et de l'adhérence de son oxyde, dispense de tous frais d'entretien et de réparations pendant un grand nombre d'années, et permet de recueillir et d'employer pour les usages domestiques les eaux pluviales avec toute garantie de salubrité.

Il ne faut pas oublier d'ailleurs que, quelles que soient les détériorations qu'ait subies le zinc, il ne perd jamais entièrement sa valeur, et qu'un poids quelconque de vieux métal représente toujours environ 40 pour 100 de son prix ordinaire.

Mais l'avantage le plus sérieux qu'offre le zinc pour les cou-

(1) On peut citer, à Paris, les toitures de la rue de Rivoli, des ministères, du palais de l'Industrie, des halles centrales, de la plupart des théâtres, du dôme du tribunal de commerce, de Sainte-Clotilde, etc. En Belgique, celles du théâtre royal de Bruxelles, des abattoirs de Mons, Bruxelles, Verviers, de la majeure partie des écoles publiques; enfin, dans presque tous les pays de l'Europe, celles des gares et des bâtiments affectés à l'industrie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vertures dérive de sa légèreté. On emploie en effet pour cet usage des feuilles dont l'épaisseur est comprise entre $0^{mm}69$ et $1^{mm}10$, et dont, par suite, le poids par mètre carré varie de 4 kil. 65 à 7 kil. 50. Pour les travaux provisoires, on peut admettre d'une manière normale la limite inférieure ; pour les couvertures définitives, l'épaisseur la plus employée est celle de $0^{mm}87$, correspondant par mètre carré à un poids de 5 kil. 95, ce qui fait par mètre carré de surface couverte, en tenant compte des recouvrements et des accessoires, 7 à 8 kilogrammes, alors que les toitures en ardoises et en tuiles pèsent, pour la même surface, la première 25 kilogrammes et la seconde jusqu'à 85 kilogrammes. De plus, la pente, qui avec les tuiles est de 45° et avec les ardoises de 30° en moyenne, peut être abaissée, quand on emploie le zinc, jusqu'au minimum nécessité pour l'écoulement des eaux. On peut admettre 15° à 20° comme inclinaison maximum des toitures en zinc, chaque fois qu'il n'y aura pas de motifs spéciaux pour leur donner une valeur plus grande. Aussi la charge totale qu'ont à a supporter les fermes et les murs d'une construction couverte en zinc n'est-elle guère que le quart de celle correspondante à l'ardoise et le douzième de celle correspondante aux tuiles. De là, malgré le prix plus élevé de la couverture, une économie finale très-considérable, et qui varie suivant le système employé.

On peut, en effet, appliquer de plusieurs manières différentes, groupées autour de deux grands types, et dont l'exposition de la Vieille-Montagne montrait d'excellents modèles réduits au vingtième de leur dimension normale, les feuilles de zinc sur la charpente destinée à les supporter.

Couvertures à tasseaux. — Dans les bâtiments destinés à l'habitation et dans les édifices publics, on couvre toujours les charpentes d'une volige jointive sur laquelle viennent se placer les feuilles de la couverture. Elle doit être en bois blanc (sapin ou hêtre), l'humidité provoquant dans le bois de chêne la for-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mation de l'acide tannique, qui attaque le zinc avec une très-grande énergie. La légèreté de ce système permet la suppression complète des chevrons et la pose directe de la volige sur les cours des pannes, que l'on espace de 1 mètre à 1^{m}10 environ. La pente maximum à donner à un pareil système est de 15° à 20°. Cette faible inclinaison, jointe à l'absence de poli due à la pellicule d'oxyde adhérente au métal, permet de marcher facilement sur de pareilles toitures sans les endommager en aucune façon, circonstance précieuse en cas d'incendie des bâtiments voisins.

La réunion des feuilles se fait, sur la longueur, par simple agrafure, et sur la largeur par des couvre-joints spéciaux, enveloppant le relief des feuilles contre les tasseaux en bois posés sur la volige. La liberté complète de la dilatation du métal est assurée par le fait que ce ne sont pas les feuilles de la couverture elle-même, mais des pattes spéciales, autour desquelles les extrémités de ces feuilles viennent se replier, qui sont clouées sur la charpente.

Les chiffres suivants, qui s'appliquent à un édifice de 12^{m} 50 de long sur 6^{m} 80 de profondeur, permettent de comparer le prix de revient de ce système de couverture, effectué avec des feuilles ayant l'épaisseur normale de 0^{mm}87 avec celui des couvertures en ardoises et en tuiles.

NATURE des dépenses.	SYSTÈME DE COUVERTURE EMPLOYÉ			OBSERVATIONS.
	Zinc.	Ardoises.	Tuiles.	
	f c	f c	f c	La charpente a été supposée tout en chêne pour les tuiles (à 90 fr. 50 le stère); En chêne et sapin pour les ardoises (88.f. le stère); En sapin pour le zinc (à 86 f. 50 le stère). Le prix du zinc laminé a été compté à 80 f.
Maçonnerie.....	259 95	498 38	747 02	
Charpente.....	178 90	299 85	435 21	
Couverture.....	636 24	457 54	563 73	
Prix total....	1,075^{f}09	1,255^{f}77	1,745^{f}96	
Prix par mètre carré de surface couverte.....	13^{f}45	15^{f}60	26^{f}80	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Couvertures et revêtements en losanges. — Au lieu d'appliquer les feuilles de zinc dans leur longueur sur la volige, on a proposé, dans ces derniers temps, un système, encore peu répandu, qui consiste à employer des feuilles découpées en losanges, dont la grande diagonale est placée dans le sens de la plus grande pente du toit. Le recouvrement s'obtient en repliant les bords de chaque feuille et en faisant agrafer les plis ainsi obtenus avec ceux des quatre losanges contigus; enfin, la fixation s'opère à l'aide d'une patte soudée au sommet supérieur du losange et de deux autres agrafées à dilatation dans les plis latéraux supérieurs, et clouées toutes trois sur la volige. Ce système permet, comme le précédent, la dilatation libre du métal; il a, de plus, l'avantage de présenter un aspect agréable et d'offrir pour la pose une simplicité précieuse surtout dans les localités dépourvues d'ouvriers spéciaux. Employé dans les travaux provisoires, il permet de faire resservir sans déchet les losanges qui le composent, pour les couvertures définitives. Enfin, il peut être également appliqué comme revêtement extérieur, destiné à garantir les murs contre les dégradations de la pluie et du vent.

Les dimensions en usage pour les losanges sont variables et croissent avec le développement de la surface à couvrir. La Vieille-Montagne livre au commerce des losanges dont les côtés ont respectivement 28, 35, 45, 60, 75 et 95 centimètres de longueur, les épaisseurs correspondantes étant $0^{mm}476$, $0^{mm}570$, $0^{mm}664$ et $0^{mm}758$; ces épaisseurs sont toutes moindres que celles employées dans le système à tasseaux. La raison en est dans la plus petite dimension des feuilles et dans leur réunion plus intime.

Couvertures en écailles. — Pour augmenter encore l'élégance de ce système, on a imaginé d'estamper les losanges de manière à y dessiner une série d'écailles qui donnent à l'ensemble l'aspect d'une couverture en tuiles. La fixation s'effectue, comme précédemment, à l'aide de pattes à dilata-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion libre cloucés sur les lattes, mais la liaison des plaques écaillées entre elles ne saurait plus avoir lieu par emboîtement et s'effectue par simple juxtaposition. Il en résulte qu'on ne peut plus se borner à des pentes faibles de 15 à 20° seulement, et qu'on est obligé d'avoir recours à des inclinaisons de 45° au moins. Aussi ce système, peu répandu d'ailleurs, s'applique-t-il surtout aux combles mansardés, destinés à recevoir une certaine ornementation.

Couvertures en zinc ondulé et cannelé. — Le deuxième type de couverture en zinc repose sur un principe tout différent : la rigidité que prennent les feuilles de zinc quand on leur donne une certaine cannelure, rigidité qui permet non-seulement la suppression des chevrons, mais encore celle de la volige. Les feuilles de zinc ondulées ou cannelées, d'une largeur moyenne de $0^{m}80$ et d'une longueur de $2^{m}25$, se placent à la suite les unes des autres et se recouvrent, dans le sens de la pente du toit, d'environ $0^{m}12$; elles sont maintenues sur la charpente par des pattes en fer étamé, soudées au-dessous de la feuille; elles s'accrochent aux cornières faisant fonction de pannes, quand la charpente est en fer, et quant, au contraire, celle-ci est en bois, on soude aux feuilles de la couverture des gaînes en fer étamé qui reçoivent les pattes, elles-mêmes cloucés sur les pannes. On emploie pour ce mode de couverture des feuilles de zinc dont l'épaisseur est en général de $0^{mm}87$, et qui peut d'ailleurs varier entre $0^{mm}76$ et $0^{mm}96$. L'écartement des pannes varie avec l'épaisseur admise entre $0^{m}70$ et $0^{m}90$; il augmente aussi un peu avec les dimensions superficielles des feuilles employées, dont le poids moyen, en tenant compte du recouvrement qui est de $\frac{1}{9}$, s'élève à 7 kil. 80 par mètre carré et à 8 kilogrammes en comptant les pattes.

Ce système s'adapte très-bien aux constructions industrielles, aux usines, aux hangars, en un mot à tout les bâtiments qui permettent la suppression des greniers proprement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dits, et surtout à ceux qui présentent une grande portée. Il réalise une économie de 3 francs par mètre carré sur le système à tasseaux; il sert, comme le système à losanges, de couverture pour les murs et peut, de plus, être employé comme clôture d'un magasin ou d'un hangar. Enfin, il présente avec une facilité de pose et de dépose plus grande que celle de tout autre système, la possibilité de faire resservir successivement et sans dépréciation les éléments qui le composent dans l'installation définitive, après qu'ils ont été utilisés dans les travaux provisoires, pourvu que la disposition des pannes des deux charpentes n'oblige pas à changer l'espacement des pattes.

Le tableau suivant présente les dépenses qu'entraîne la couverture d'un grand hangar de 63 mètres de longueur et de 18 mètres de largeur, suivant qu'elle est faite en tuiles ou en zinc ondulé.

NATURE DE LA DÉPENSE.	COUVERTURES EN tuiles.	COUVERTURES EN zinc.	OBSERVATIONS.
Dés en maçonnerie.....	11f 33	27f 38	La dépense totale du comble couvert de tuiles est de 22,267 f. Celle du comble couvert de zinc ondulé de 18,719 fr. seulement.
Charpente { Chêne à 170f le m3	297 16	100 24	
Charpente { Sapin à 140f le m3	709 46	223 25	
Serrurerie { Fonte et fer à 70 et 120f les 100 kil. posés.....	51 54	225 81	
Couverture.....	471 80	729 00	Le prix du zinc est compté à 80 fr. Chaque hausse de 5 fr. donnerait une augmentation de 0 f. 35 à 0 f 40 par mètre carré.
Total.....	1,541 29	1,305 68	
Prix par mètre carré courant.	20f 10	16f 50	

Estampage.—Le zinc estampé a remplacé, dans les édifices publics et particuliers, l'ornementation en plomb si lourde et si chère. L'estampage, pratiqué sur des feuilles de 0mm5 à 0mm6, s'applique surtout aux auvents, marquises, clochetons, girouettes, crêtes de faîtage, corniches, entablements, lucarnes, etc., et les rapides progrès que cette ornementation a faits

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans ces derniers temps suffisent pour constater les avantages qu'elle présente sur sa devancière.

Tandis qu'il y a cinq années à peine aucun estampeur ne voulait même essayer d'appliquer ses procédés aux feuilles de zinc, aujourd'hui de nombreux ouvriers sont occupés par cette industrie, qui ne consomme pas moins de 1,000 tonnes de zinc laminé par an.

Satinage. — Le zinc laminé s'emploie à l'état de feuilles très-minces ($0^{mm}1$ et $0^{mm}5$) pour le satinage des papiers. Cette fabrication exige des soins particuliers et un métal d'une pureté et d'une homogénéité parfaites, les moindres pailles ou soufflures rendant le métal impropre à l'usage auquel il est destiné. On a essayé de se servir des mêmes feuilles pour le satinage des étoffes, mais on n'y a pas encore réussi, à cause des petites paillettes qui se détachent facilement des plaques de zinc pendant l'opération.

Doublage des navires. — L'application du zinc au doublage des navires avait pris une rapide extension, lorsque la transformation opérée dans la construction maritime par la substitution du fer au bois vint paralyser cet essor. Nous pensons toutefois que cet arrêt n'est que momentané et que le doublage en zinc des vaisseaux en fer est appelé, malgré les imperfections qu'il présente encore, à prendre un grand développement.

Le rôle du doublage est essentiellement de protéger la coque et de subir lui-même toutes les détériorations dont cette dernière est menacée; or, quand on emploie le cuivre pour doubler des navires en fer, l'action galvanique qui se produit par le contact de ces deux métaux avec la mer s'exerce principalement aux dépens du fer, qui est corrodé, tandis que le cuivre demeure à peu près intact. Quand, au contraire, on fait usage du zinc, c'est ce dernier surtout qui est lentement attaqué par l'eau de mer. Cette attaque présente, outre une préservation plus grande de la coque en fer, l'avantage de produire un renouvellement lent de la surface extérieure du dou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

blage, de conserver à cette dernière une grande netteté, et de réduire, par suite, dans la même mesure, l'adhérence des coquillages et des végétaux marins qui se produit dans une proportion croissante avec l'inaltérabilité de la surface extérieure du doublage.

Les difficultés spéciales que présente la réunion du doublage en zinc à la coque en fer ont été récemment résolues par un ingénieur anglais, M. T.-B. Daft, qui a exposé des modèles en petit du système qu'il a adopté, et dont il sera rendu compte ailleurs.

En attendant que cette solution ait reçu toute l'application qu'elle mérite, l'emploi du zinc pour le doublage des navires est provisoirement restreint aux bâtiments naviguant dans les mers froides; on se sert pour cet usage de feuilles ayant des épaisseurs de $0^{mm}96$, $1^{mm}10$, et $1^{mm}20$, cette dernière étant réservée pour la partie antérieure du navire plus fortement exposée à l'action de la vague.

Ustensiles pour les usages domestiques et industriels. — Une grande partie des ustensiles domestiques et industriels est aujourd'hui fabriquée en zinc. Ce sont notamment tous ceux qui servent à la conservation des liquides, tels que brocs, seaux, arrosoirs, bains de siége, baignoires, caisses et réservoirs d'eau pour la marine et les brasseries, cuves à papeterie, cristallisoirs divers pour les raffineries, etc. Mentionnons encore l'usage croissant du zinc pour l'emballage des farines, des conserves alimentaires et des matières grasses (feuilles de $0^{mm}5$), pour la galvanoplastie, la gravure de la musique, et, d'après une application toute nouvelle due à l'initiative de l'Imprimerie impériale, le report typographique et l'impression en couleur des cartes dont on possède la gravure sur cuivre.

Zinc perforé. — Le zinc perforé sert à la fabrication des cribles et tamis. Il exige l'emploi de feuilles très-minces faites avec un métal de bonne qualité, dont l'épaisseur varie de 1/2 à 1 millimètre au plus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tréfilerie. — Le zinc laminé et découpé en petites baguettes peut être étiré et passé à la filière comme le fer et le cuivre, mais il présente sur ce dernier l'avantage d'être, à résistance égale, beaucoup moins cher, et sur le premier celui d'être inoxydable, de n'exiger aucun entretien, de ne pas être endommagé par la torsion comme le fil galvanisé, enfin de posséder une très-grande souplesse.

En revanche, il offre une résistance moindre, et sa substitution au fil de fer doit, par suite, être circonscrite aux usages où cette résistance ne joue qu'un rôle accessoire, tels que ligatures des balais, treillis, grillages, clôtures, magnaneries, entourages et attaches pour serres et vergers, tamis, objets de quincaillerie et de passementerie, grillages protecteurs pour vitraux d'église, etc.

Le tableau suivant définit la nature et les prix d'une partie des fils de zinc que l'on trouve dans le commerce. On a pu voir à l'Exposition la preuve matérielle de l'excellente qualité des fils de la Vieille-Montagne sous la forme d'un petit cylindre creux qui provenait du décapage d'un fil, et qui s'était détaché tout entier, sans se briser, pendant le passage de ce dernier à la tarière.

NUMÉROS.	POIDS du fil au mètre.	LONGUEUR d'une botte de 5 kilogrammes.	PRIX par botte de 5 kilogrammes.	PRIX par 100 kilogrammes.
	grammes.	mètres. cent.	fr. c.	francs.
P. P.	»	» »	9 45	189
P	»	» »	9 »	180
1	2.21	2,262 44	8 10	162
3	3.33	1,378 92	6 75	135
5	5.60	894 45	5 85	117
7	7.49	668 68	5 40	108
10	10.00	416 80	4 95	99
15	24.07	191 79	4 70	94
20	107.14	46 67	4 45	89
24	250.00	20 00	4 45	89

Clous. — Le fer développant, par son contact avec le zinc, sous l'influence des agents atmosphériques, une action galva-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nique destructive des deux métaux juxtaposés, mais surtout du zinc, l'emploi de ce dernier dans la construction a nécessité l'existence de clous du même métal.

Fabriqués à froid, les clous en zinc ont toute la raideur et toute la souplesse des clous en cuivre, sans avoir comme eux et les clous en fer l'inconvénient de former un oxyde qui tache la peinture. Mais, comme nous l'avons déjà fait remarquer à l'occasion des toitures, la corrosion du zinc par l'acide tannique exclue d'une manière absolue l'emploi des clous de ce métal, chaque fois que l'on fait usage du bois de chêne.

Nous terminons en donnant le tableau qui résume les dimensions et les prix des principaux types de clous livrés au commerce par la société de la Vieille-Montagne.

NUMÉROS.	DÉNOMINATIONS.	DIMENSIONS.		NOMBRE DE CLOUS au kilogramme.	PRIX par 100 kilogrammes.	OBSERVATIONS.
		DIAMÈTRE (sous la tête).	LARGEUR (sous la tête).			
		millim.	millim.		fr.	
1	Semences.....	»	9	8,000	210	Les clous *semences* et *bossettes* servent pour les travaux des tapissiers, plâtriers, décorateurs, bourreliers et selliers.
4	*Id.*	»	15	1,800	140	
6	*Id.*	»	19	1,400	110	
7	Bossettes (têtes rondes).	»	14	2,120	110	
10	*Id.* ...	»	26	850	110	
11	Pointes de Paris.....	»	24	830	120	Les pointes et clous à ardoises et à pannes entrent dans la construction des édifices, et sont indispensables quand on emploie des couvertures en zinc.
12	— à têtes rondes..	»	26	620	120	
13	— à couvre-joints.	»	40	280	120	
14	— à ardoises.....	»	23	1,380	120	
16	Clous à ardoises.....	»	21	1,200	110	
19 *bis*.	— (à tige mince)....	»	32	500	110	Enfin, les clous et têtes à doublage, à ponts et à bordage, servent dans les constructions maritimes.
20	Clous à pannes.....	»	42	300	110	
21	Clous à doublage.....	»	27	320	110	
23	*Id.*	»	34	300	110	
24	Pointes à ponts.....	5	63	120	100	
29	*Id.*	10	160	14	100	Les barres carrées et rondes, pour la fabrication des clous et des chevilles, se vendent au prix du zinc laminé; elles ont 4 mètres de longueur et de 8 à 30 millimètres de diamètre ou de côté.
30	Clous carrés à bordage.	6	70	58	110	
32	*Id.* ...	8	110	22	110	
32 *bis*.	Têtes rondes à ponts..	8	110	22	110	
33	Têtes carrées à bordage.	10	140	12	110	
34 *bis*.	Têtes rondes à ponts...	12	170	8	110	
36	Têtes carrées à bordage.	14	230	5	110	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 3. — Blanc de zinc.

Blanc de zinc. — On sait que le zinc, quand il est porté, en présence de l'air, à la température rouge, s'oxyde en donnant naissance à une fumée blanche, impalpable, que les alchimistes avaient appelée *Lana philosophica* et que l'industrie moderne désigne sous le nom de *Blanc de zinc*.

La division extrême de ce corps, et sa couleur qui peut atteindre une blancheur éblouissante, son inaltérabilité à l'air, et son innocuité pour les ouvriers qui le manient, en ont fait depuis longtemps un rival, et même un rival triomphant de la céruse. Sa consommation industrielle, qui, au bout de dix-huit mois, avait atteint 4,000 tonnes, dépasse 10,000 tonnes par an aujourd'hui.

Sa fabrication est d'une simplicité extrême. Le zinc est brûlé dans une série de moufles placés dans un four commun et chargées alternativement de manière à ce que la chaleur, développée par la combustion des uns, amène le métal contenu dans les autres à une température suffisante pour qu'il puisse s'enflammer à son tour.

Les fumées de l'oxyde produit parcourent un vaste réseau de couloirs et de chambres de condensation et viennent finalement s'accumuler dans de grands entonnoirs en toile, d'où on les fait tomber dans les barriques servant à leur transport.

La blancheur parfaite étant la condition essentielle de la valeur commerciale du blanc de zinc, on sépare avec soin les parties qui renferment quelque impureté pouvant en ternir la couleur, et surtout les cadmies et les gouttelettes de zinc imparfaitement oxydées. Ces matières sont broyées, lavées et reçues dans des labyrinthes où elles déposent d'abord les parties les plus lourdes, que l'on recueille séparément et qui forment le *gris pierre*, puis des blancs qui atteignent bientôt une pureté parfaite.

Le *gris pierre* possède la teinte naturelle de la pierre de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Paris; il sert dans la peinture pour les tons foncés ou les couches d'impressions des travaux. A cette substance se rattache le *gris ardoise*, poussière lourde et impalpable, formée de zinc très-incomplétement oxydé qui se dépose dans les allonges des fours de réduction. Le gris ardoise peut remplacer le minium pour peindre le fer, qu'il préserve de la rouille et s'applique avec avantage, quand il est mélangée avec 5 pour 100 d'un siccatif au manganèse, sur les bois exposés à l'humidité. Enfin il forme, pour les joints des machines, un mastic qui peut remplacer avantageusement le minium.

Le blanc de zinc se broie, se détrempe et s'applique comme la céruse; quoiqu'il absorbe un peu plus d'huile et doive être étendu en teintes plus épaisses que cette dernière, il a cependant sur elle l'avantage de l'économie, parce qu'il conserve mieux les substances enduites et que sa légèreté lui permet de couvrir, à poids égal, une bien plus grande surface.

Il s'applique, soit à l'aide d'un vernis à l'esprit de vin, ou à l'essence, soit à l'aide de siccatifs divers, employés dans la proportion de 2 à 3 pour 100, et choisis de préférence parmi ceux qui sont à base de manganèse.

Toute la valeur du blanc de zinc résidant dans l'éclat de sa couleur, on prend pour sa fabrication les zincs les plus purs et c'est même cette considération, plutôt que celle de la consommation qui limite la production du blanc exceptionnel. Il faut même faire dans les minerais d'où l'on tire le zinc servant à la fabrication de ce dernier, un choix très-sévère. et l'on a constaté que les zincs provenant de calamines pures comme celles de Moresnet, de Tarnowitz ou de certains gisements d'Espagne et de Sardaigne donnent toujours un blanc d'une valeur supérieure à celui fourni par le métal extrait de la blende.

En Amérique, on a donné au problème une solution entièrement différente, et l'on extrait directement l'oxyde de zinc de la calamine, sans passer par l'intermédiaire du métal. Les blancs ainsi obtenus ne possèdent jamais, au point de vue de la cou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur, les qualités de ceux fabriqués par l'oxydation du zinc; mais ils sont infiniment plus économiques et jouissent d'ailleurs de toutes les propriétés physiques et chimiques inhérentes à la constitution de l'oxyde de zinc, propriétés qui rendent ce dernier si précieux pour la peinture.

L'importation européenne fournit d'ailleurs aux États-Unis, au moins jusqu'à présent, les blancs exceptionnels pour lesquels on se montre alors d'autant plus exigeant que l'écart de leur prix avec celui de la couleur indigène est plus considérable.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION X

PLATINE, OXYGÈNE, SILICIUM ET BORE, GLYCINIUM

PAR M. SAINTE-CLAIRE DEVILLE.

Le platine ne se trouve dans la nature ni à l'état de pureté, ni à l'état de combinaison définie. Le minerai, qui vient à peu près exclusivement, soit du Choco, soit de l'Oural, est une sorte d'alliage dans lequel le platine est dominant, et se trouve accompagné de fer, de palladium, d'osmium, d'iridium, de rhodium et de cuivre. Il est en outre mélangé avec des lamelles d'osmiure d'iridium, contenant du ruthénium. On a pu voir la magnifique collection de ces métaux rares, obtenus à l'état de pureté et fondus dans l'exposition de M. Matthey, de Londres ; elle a fait l'admiration de tous les chimistes.

L'extraction du platine nécessite des méthodes métallurgiques particulières, dont l'invention date des dernières années du XVIII^e^ siècle. Après Janety, Wollaston a employé des procédés dits de voie humide, dont l'ensemble constitue un des chefs-d'œuvre de la chimie moderne.

Tout récemment, M. Debray et nous, nous avons donné un nouveau procédé d'extraction par le feu, que M. Matthey, en Angleterre, et MM. Desmoutis, Chapuis et Quennessen, en France, ont utilisé sur des quantités plus ou moins considérables de matières. Ainsi, on peut voir dans la vitrine de M. Matthey le *fac-simile* d'un magnifique lingot de platine fondu et coulé en 1862, lingot pesant plus de 100 kilogram-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mes, exposé en nature à Londres, il y a cinq ans. Un autre progrès, réalisé par le fabricant anglais, c'est la soudure autogène du platine qui permet de lier entre elles les parties séparées d'un même appareil sans l'intervention de l'or, lequel servait jusqu'ici de soudure dans les vases de platine. L'intérêt qui se rattache à ce perfectionnement considérable vient de ce que l'or est trois ou quatre fois plus cher que le platine, que ces deux métaux n'ont pas la même dilatation par la chaleur, possédent des propriétés chimiques différentes, et que, par conséquent, une économie sérieuse et des avantages spéciaux résultent de cette invention.

Le platine est exclusivement employé pour la fabrication des vases destinés aux chimistes et aux industriels, et en particulier aux distillateurs d'acide sulfurique. Il est difficile de trouver, parmi les constructeurs d'appareils exposés en 1867, des fabricants plus habiles que ceux dont les vases de platine figurent dans les vitrines de la classe 51. M. Matthey, de Londres, nous montre des appareils de distillation d'une capacité vraiment extraordinaire. Ces vases sont soudés au platine, supérieurement établis d'après des modèles nouveaux et très-économiques. On remarque également une grande perfection et beaucoup d'élégance dans les appareils exposés par MM. Desmoutis et Quennessen, et par MM. Chapuis frères. Enfin, de nouveaux concurrents entrent en lice avec quelque succès; ce sont MM. Godard et Labordenave. La liste des exposants du platine serait incomplète (et, comme on le voit, elle est bien courte), si nous n'ajoutions ici le nom de M. Heraeus, de Hanau, dont la réputation en Allemagne est faite pour la fabrication des vases de chimie en platine fondu. En résumé, l'extraction du platine et la fabrication des vases industriels a fait dans ces dernières années des progrès considérables.

Corps simples.—Sous ce titre, nous ne pouvons faire entrer dans le présent rapport que les corps simples non métalliques, dont il n'a pas été question dans les chapitres qui concernent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les métaux proprement dits. Parmi les métalloïdes eux-mêmes, nous devons nous restreindre à ceux qui n'ont pas une importance commerciale considérable, comme le chlore, le brome et l'iode, dont on trouvera l'histoire dans les rapports qui concernent la grande industrie chimique. Le diamant lui-même et le charbon, qui ont une place distincte, n'ont pas été compris dans les matières dont la classe 44 a dû s'occuper.

Oxygène. — On se préoccupe beaucoup, depuis quelque temps, de la préparation économique de l'oxygène et de son emploi dans les arts. Bien des procédés ont été tentés, et nous n'avons pas à les décrire ici. Un de ces procédés, qui consiste à décomposer au rouge sombre l'acide sulfurique en acide sulfureux condensable et en oxygène, a été pratiqué pour la première fois par M. Debray et par nous. M. Archereau, bien connu déjà dans l'industrie par des applications de la chimie et de la physique, réalise chaque jour cette préparation de l'oxygène qu'il a perfectionnée.

Bien avant la publication de cette méthode, M. Boussingault avait proposé de décomposer et de reconstituer, aux dépens de l'oxygène de l'air, par des variations de température, le bioxyde de baryum, corps que l'on obtient facilement et en grandes quantités. Mais le bioxyde de baryum perd bientôt ses propriétés, et M. Boussingault qui, dans un mémoire devenu classique, a étudié cette question avec un soin minutieux, en a donné lui-même les raisons. M. Tessié du Motay a eu l'heureuse idée de substituer au bioxyde de baryum le manganate de soude, qu'il prépare avec une facilité extrême, et dont il chasse l'oxygène par un courant de vapeur d'eau. La matière, dépouillée d'oxygène, le reprend au contact de l'air à une température peu élevée. L'appareil employé par M. Tessié du Motay est d'une grande simplicité. Nous avons pu voir oxygéner et désoxygéner successivement le manganate de soude jusqu'à 70 fois, sans que les propriétés absorbantes de la matière pour l'oxygène eussent diminué. M. Tessié du Motay a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

obtenu, pour cette invention et pour d'autres d'une importance égale, un très-grand succès à l'Exposition de 1867.

Silicium et Bore, Glycinium. — Nous ne savons trop à quoi pourrait être employé dans les arts le radical de la silice, le silicium. Sa dureté est extrême, son éclat est fort beau; mais, sous ce rapport, il le cède de beaucoup au bore, avec lequel on a réussi à user le diamant, et dont l'éclat et la réfringence sont comparables à ceux du diamant lui-même. Quelques applications en ont déjà été faites. La vitrine de M. Mathey, le célèbre fabricant de platine, contient aussi des échantillons d'une rare beauté de silicium et de bore. M. Ménier a exposé ces matières obtenues sous un volume et avec un éclat très-remarquable. Nous citerons encore, dans la vitrine de M. Ménier, la présence du glucynium, métal de l'émeraude découvert par M. Wöhler, l'illustre chimiste de Gœttingen, mais que M. Debray, le premier, a montré sous sa vraie forme métallique et avec ses propriétés remarquables.

La préparation de cette matière exige une habileté toute particulière, tout aussi bien que celle du lithium, métal alcalin de la lithine, dont M. Ménier expose des échantillons obtenus par la méthode de M. Troost. Il a pour coopérateur très habile et très-heureux son directeur de la fabrique de Saint-Denis, M. Berthé, lequel s'occupe particulièrement de la préparation des matières qui font le sujet de ce rapport.

Les limites et le titre de cet écrit nous empêchent de citer ici les grandes fabriques d'Allemagne, où l'on trouve, comme chez M. Tromsdorff, et M. Merck, des produits chimiques et pharmaceutiques d'une rare beauté, parmi lesquels on rencontre souvent des corps d'un intérêt très-grand. L'Exposition de 1867 nous montre, sous ce rapport, un progrès évident et une tendance bien marquée à rendre applicables à l'industrie les progrès récents qu'accumulent chaque jour dans la science les chimistes théoriciens.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION XI

MÉTAUX RARES

PAR M. SAINTE-CLAIRE DEVILLE.

Les métaux connus des anciens sont ceux que la nature nous fournit à l'état de pureté, comme l'or, l'argent et même le cuivre ou ceux qu'on extrait de leurs minerais par la simple action du feu et du charbon, comme le fer, le plomb etc. Le platine ne se trouve ni dans l'une ni dans l'autre de ces deux catégories, aussi n'a-t-il été utilisé par les hommes que fort tard. Le sodium, dont la découverte remonte aux premières années de notre siècle, est un agent nécessaire à la réduction de minerais fort communs, mais qui résistent à l'action du charbon et du feu. C'est pour cela que l'aluminium n'a été extrait de l'argile et n'a été utilisé que depuis peu d'années. Le zinc lui-même, dont l'oxyde traité à une température élevée par le charbon se prépare difficilement, à cause de sa volatilité et de l'énorme chaleur qu'exige sa production, le zinc est un métal nouveau. Sa découverte a une date très-récente, et son emploi, comme métal des plus communs, n'est répandu que depuis une quarantaine d'années environ. Il a servi de passage des métaux rares dont nous allons parler aux métaux les plus usuels qui font l'objet des rapports précédents.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 1. — Aluminium.

Depuis 1862 et surtout depuis 1855, époque à laquelle ce métal parut dans l'industrie, les progrès qu'a faits sa fabrication ont été considérables. La vitrine du seul exposant de ce nouveau métal, M. Paul Morin, le prouve clairement. L'aluminium exposé en 1867 est d'une pureté bien supérieure à celle du métal qui figurait aux expositions précédentes. Les applications sont d'ailleurs restées à peu près les mêmes. Les objets d'art et d'ornement auxquels la couleur et l'éclat de l'aluminium conviennent parfaitement, et que la parfaite inaltérabilité du métal exposé à l'air défend contre toute action du temps, se sont trouvés en grand nombre parmi les objets exposés en aluminium pur.

L'industrie a su profiter également de la légèreté spécifique de ce métal pour la confection des lorgnettes et longue-vues dont le poids est très-fatiguant pour les personnes qui s'en servent souvent et même constamment, comme à la mer. M. Bardou a été l'un des premiers qui aient réalisé cette utile application : il a su façonner le métal nouveau de manière à lui donner toutes les formes compliquées et variées nécessaires à la confection des instruments d'optique.

L'aluminium possède une qualité précieuse et tout à fait exclusive parmi les autres métaux : c'est l'innocuité. La plupart des composés oxydés de l'aluminium que les matières alimentaires pourraient produire par leur contact avec le métal, sont insolubles et par conséquent tout à fait inoffensifs. Les composés solubles de l'aluminium sont des substances astringentes qui ne possèdent aucune propriété toxique, même si on les administre à haute dose. L'aluminium est donc la matière la plus propre à la fabrication des casseroles, et déjà une certaine quantité de ces ustensiles de cuisine ont été répandus dans le commerce et sont exposées dans la vitrine de M. Morin. En outre de ce que l'aluminium est très-peu atta-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quable, que son action sur l'économie est absolument nulle, qu'il n'a pas d'odeur, ce métal possède un avantage très-précieux pour cette sorte d'usage, il a une chaleur spécifique considérable, s'échauffe et se refroidit très-lentement; enfin, il ne se laisse pas mouiller par les graisses, qui n'exercent sur lui aucune action. Aussi, nous sommes persuadés que, dans un temps qui ne sera pas bien éloigné, l'aluminium sera employé exclusivement à la fabrication de tous nos vases culinaires.

Un autre emploi de l'aluminium mériterait une mention plus longue que celle qui convient à ce rapport sommaire. On sait déjà, par les rapports de 1862, combien sont précieuses et importantes dans l'application les propriétés de cet alliage de cuivre et d'aluminium auquel on a donné le nom de bronze d'aluminium. Cet alliage ou plutôt cette combinaison intime des deux métaux ressemble à un métal homogène et au fer en particulier dont il possède toutes les qualités physiques, la dureté, la ténacité et la malléabilité, sans en avoir l'oxydabilité. M. Morin en a fait l'application à un grand nombre d'industries diverses qui ont, en divers lieux, exposé des coussinets de machine, des roues dentées à frottements durs et à grande vitesse, des harnais, des espagnolettes, des clefs et des serrures, etc.

La couleur du bronze d'aluminium semblable à l'or le rend d'ailleurs propre à la confection d'un grand nombre d'objets d'art et d'ornement et même de bijoux qui ont figuré très-honorablement aux Expositions de 1862 et de 1867.

Mais l'application toute nouvelle du bronze d'aluminium et qui a motivé une exhibition de très-beaux produits, c'est la fabrication des vases sacrés et des ornements d'église, autorisée par une décision récente du pape. La belle couleur du bronze d'aluminium, la facilité avec laquelle il s'argente et se dore par les procédés de la galvanoplastie, le beau poli dont il est susceptible et que l'on entretient sans peine, suffisent pour expliquer la faveur exceptionnelle accordée au nouveau métal par l'autorité ecclésiastique. Les beaux échantillons expo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sés par M. Morin, la modicité de leur prix, justifient amplement un succès qui a été légitimement acquis.

L'aluminium se fabrique actuellement à Newcastle en Angleterre par MM. Bell et surtout à Salindres dans l'usine de M. Merle, où l'habile directeur, M. Brivet, a fait faire à la métallurgie du nouveau métal de grands progrès qui, nous l'espérons, ne seront pas perdus pour l'industrie.

§ 2. — Magnésium.

Il y a quelques années, un chimiste anglais, M. Sonstadt, appliquant avec d'heureuses modifications les procédés de préparation et de distillation que le commandant Caron et nous, nous avions publiés, produisit des quantités considérables de magnésium. M. Matthey de Londres, se chargea de le tréfiler, de le laminer pour en faire des bandes métalliques destinées à l'éclairage. La combustion du magnésium donne en effet une flamme d'une intensité extrême, comme l'avait remarqué MM. Bunsen et Matthiesen. Aussi, bien des essais ont été tentés pour obtenir un emploi régulier et facile du magnésium dans des lampes destinées à la photographie ou aux phares. M. Matthey a exposé le métal en lames, en fils, en lingots et des lampes où l'on s'en sert, soit sous ces formes diverses, soit sous la forme d'une poudre fine divisée par du sable pour obtenir un éclairage continu et régulier. Ces tentatives sont déjà fort heureuses et tout fait espérer qu'il sera possible d'utiliser dans l'industrie la curieuse matière métallique extraite par M. Bussy de la magnésie, si commune dans la nature. Avant M. Sonstadt, M. Rousseau avait mis dans le commerce une grande quantité de magnésium destiné aux collections de produits chimiques.

§ 3. — Sodium.

Le sodium, qui est le réducteur des minerais de l'aluminium et du magnésium, se trouve dans un grand nombre de vitrines

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de l'Exposition. Le mode de préparation de ce métal est encore le même que celui qui a été décrit à propos des Expositions précédentes. M. Rousseau en montre des échantillons magnifiques préparés dans son usine, où la fabrication de ce métal a été autrefois entreprise sur de très-grandes masses. Mais aujourd'hui ce sont les usines de MM. Bell, et surtout celle de M. Merle qui en produisent les quantités les plus considérables, destinées à l'extraction du magnésium et de l'aluminium.

§ 4. — Rubidium.

Nous mentionnerons justement ici de grandes quantités de cette matière si rare, exposées par M. Heraeus, de Nassau. Ce fabricant a utilisé avec beaucoup de talent les remarquables procédés découverts par M. Bunsen et Kischoff, à la suite de leurs mémorables découvertes sur l'analyse spectrale.

§ 5. — Iridium.

M. Richter, le savant professeur de Freyberg, a exposé de beaux lingots de ce métal découvert par lui et par M. Reich dans le zinc et dans les blendes. C'est encore un des remarquables produits de l'analyse spectrale, et l'une des raretés les plus précieuses de l'Exposition.

§ 6. — Thallium.

M. Lamy a exposé le premier à Londres, en 1862, un lingot de ce métal dont il a décrit d'une manière si complète et si exacte les propriétés curieuses et exceptionnelles. Avant lui, M. Crookes, savant chimiste anglais, avait découvert la présence de cette nouvelle matière dans les pyrites de fer où l'analyse spectrale la décèle avec une facilité et une netteté remarquables, et avait indiqué un mode d'extraction.

M. Lamy a rempli sa vitrine d'un nombre considérable de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lingots de thallium et des produits les plus intéressants qui ont servi à ses longues et belles études. Il est impossible de ne pas admirer la perfection des formes cristallines que présentent la plupart des combinaisons binaires et salines du Thallium; mais il est surtout intéressant, à notre point de vue, de signaler les applications importantes qu'on en peut faire pour obtenir des verres d'optique d'une densité et d'un pouvoir dispersif considérables. La collection des produits et des verres à base de thallium de M. Lamy est donc une des plus intéressantes qui se puisse voir à l'Exposition de 1867.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION XII

MÉTAUX DIVERS

PAR M. E. PETITGAND.

Nous réunissons sous ce titre, les métaux dont l'emploi a cours dans la pratique usuelle de l'industrie : il comprend tous ceux qui, échappant aux spéculations de la science pure et aux proportions du laboratoire, entrent dans les usines pour servir aux besoins qui prennent soin de les rapprocher, ou bien deviennent, en d'autres termes, les bases de nouvelles fabrications plus étendues. Moins abondants et moins répandus que le fer, le cuivre et le zinc, dont les fonctions et les progrès dans les grandes questions d'industrie se trouvent si pertinemment appréciés, ils y jouent cependant un rôle considérable, dû à leurs qualités spéciales et à leurs propriétés particulières, qui permettent les usages et les applications multiples auxquels donnent naissance leurs combinaisons entre eux, ou leurs divers alliages avec le cuivre. Tels sont l'étain, le mercure, le manganèse, l'antimoine, le nickel, le cobalt, le cadmium, etc., que nous allons rapidement passer en revue. En général assez faiblement représentés à l'Exposition, ils ne tiennent peut-être pas toute la place qu'ils devraient y occuper; on ne peut guère juger de leur valeur et de leur mérite qu'en signalant les industries qui leur empruntent leurs moyens d'action. Les échantillons qu'on trouve disséminés chez les différents peuples ne donnent pas toujours une idée exacte de leur importance; ils n'apportent avec eux aucun fait nouveau sur les méthodes et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les procédés de traitement en usage, qui n'ait déjà été mis en évidence dans les précédentes Expositions.

§ 1. — Étain.

Comparativement aux autres métaux, les mines d'étain sont rares et ne se rencontrent que sur bien peu de points, en général d'une médiocre étendue, en filons irréguliers, au sein des rochers granitiques ou dans les alluvions provenant de la désagrégation des terrains encaissants. On ne connaît qu'un seul minerai, qui est le bioxyde associé plus ou moins à des arsénio-sulfures, au fer titané, au wolfram, à des oxydes de fer cristallisés, etc. Il n'y a pas lieu de décrire ces procédés de préparation très-perfectionnés, et qui sont des plus simples, ni ceux de fusion, l'une des opérations métallurgiques qui offrent le moins de difficultés pratiques. En Angleterre, la fonte a lieu par deux méthodes différentes : par la première, la réduction s'effectue dans un four à réverbère, chauffé à la houille, dans lequel le minerai est introduit avec de l'anthracite en poudre, ou toute autre matière carbonacée. Cette opération comprend deux périodes distinctes : la fusion et l'affinage qui a pour but de débarasser le métal des matières étrangères et consistant principalement en fer, en arsenic, en cuivre et en tungstène mélangé de quelques parties d'oxyde d'étain non réduit. L'affinage se résume lui-même par deux phases bien tranchées. La première consiste dans la liquation de l'étain chauffé sur la sole du réverbère jusqu'à son point de fusion qui lui permet de couler jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une masse ferrugineuse qu'on renvoie à une fusion subséquente. Le métal recueilli dans un vide ménagé au bas de la sole, subit, dans un appareil spécial, un bouillonnement qui achève de le dégager de ses impuretés. Par la seconde méthode, l'étain est réduit dans un four à manche alimenté au charbon de bois. Cette méthode ne s'applique qu'à des minerais d'alluvion et dans les cas seulement où l'on cherche à obtenir un métal

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

très-pur. En Allemagne, la fusion ne s'opère qu'avec des fours à manche de 1m80 à 2 mètres de hauteur, dont le creuset se trouve mi-partie à l'intérieur et mi-partie à l'extérieur du four. Sa conduite n'offre rien de nouveau et de particulier. L'affinage se fait également par liquation et par bouillonnement à l'aide de procédés peu différents de ceux qui sont suivis dans le pays de Galles.

Sans prétendre refaire l'histoire de l'étain, disons cependant qu'il fut l'un des métaux les plus connus et les plus employés dans l'antiquité. Exploité dans les Gaules, en Espagne et dans la Grande-Bretagne qui est restée un des lieux importants de sa production, il fut, chez les anciens peuples, l'objet d'un commerce très-étendu. Il était si recherché que, au temps de Rome, Tacite considérait l'exploitation des mines d'étain du Cornwall comme le gage suffisant de conquêtes chèrement disputées. Uni au cuivre, il fournit le bronze, qui en absorbait la plus grande partie : leurs proportions respectives en déterminaient les usages et les emplois. Sa propriété de durcir le cuivre le rendait propre à la confection des armes et des outils tranchants, et lui donnait une résistance et une solidité qui ne paraissent pas l'avoir cédé à celles de l'acier le mieux trempé de nos jours. Le bronze était prodigué dans l'ornement des temples, des édifices et dans tous les usages de la vie domestique. Le bronze de Corinthe, composé d'or, d'argent, d'étain et de cuivre était célèbre entre tous. Aujourd'hui encore, l'étain n'a rien perdu de sa valeur; nous le faisons servir à la plupart des usages auxquels les anciens l'avaient adapté : il entre dans la composition du bronze des canons et en général de tous les bronzes qui exigent une grande ténacité. Bien que le zinc, moins cher, ait pris sa place dans les alliages qui avaient cours autrefois, il reste cependant toujours préféré pour les objets de prix dans les œuvres d'art et la statuaire. Il est notamment employé dans les compositions métalliques connues sous le nom de *métal anglais*, *albate plate*, *argent allemand*, *etc.*, à l'étamage des glaces, à la fabrication du fer-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

blanc. Il entre dans la composition du métal de cloches et dans la fabrication de la monnaie de billon. Il constitue, en plus fortes proportions avec le cuivre, un alliage utilisé pour les miroirs de télescope. Son oxyde sert de même que chez les Phéniciens et les Égyptiens de mordant dans la teinture.

L'étain sert encore à la confection de divers vases et d'ustensiles de ménage, de couverts de table, en y alliant de 15 à 18 pour 100 de plomb, afin de le rendre moins cassant. Mais la vaiselle d'étain, autrefois si recherchée et qu'on ne rencontre plus guère que dans les contrées écartées, dans les brasseries allemandes et dans les auberges de campagne, tend à diminuer chaque jour davantage en présence des compositions dont le nickel constitue la base.

Nous n'avons pas à juger ici le mérite du travail des nombreux objets qui ressortent de l'emploi de l'étain.

L'Angleterre avec la Hollande exercent le monopole de l'étain. Les produits des mines du Cornwall, déjà connus des Phéniciens et des Carthaginois qui en faisaient le commerce le plus actif, étaient transportés sur toutes les rives de la Méditerranée; ces mines furent exploitées ensuite par les Romains qui succédaient eux-mêmes aux Phocéens de Marseille; elles sont restées la source principale de la production de l'étain en Europe. Les mines de l'Erzgebirge en Saxe, et de Schlaggenwald en Bohême, viennent bien après, et ne fournissent, ainsi que celles de la Suède, qu'un faible appoint à la consommation. On connaît aussi l'étain en Espagne, à Zamora et dans la Galice; c'est non loin de ces côtes que se rencontraient, dit-on, les îles disparues des *Cassitérides*, où les Phéniciens récoltaient abondamment ce métal. On le rencontre également en France sur les côtes du Morbihan, à Penestin (le cap de l'étain, du mot gaëlique *Staen*), à Piriac, roulé dans les sables de la mer qui le détache vraisemblablement des roches sous-marines où il est enclavé. Il est à croire que l'étain de l'ancienne Armorique provenait de ces alluvions, ou encore des filons stannifères de cette région dont l'exploitation a été tentée sans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

succès ces dernières années à Villeder. L'étain existe aussi dans la Haute-Vienne, et on l'a signalé tout récemment à Montebras, dans la Creuse, où il est l'objet d'actives recherches habilement dirigées, qui permettent d'espérer des résultats heureux. Ces divers gisements sont représentés par quelques échantillons intéressants. Il convient également d'appeler l'attention sur ceux déposés dans les collections des États-Unis. Aucun métal ne manque, en vérité, à cette terre promise des mines : l'étain paraît devoir, à l'égal de tous les autres métaux, y occuper un rang sérieux.

Mais les gisements les plus étendus, et probablement jusqu'à présent les plus riches du monde, se trouvent dans l'archipel de la Malaisie, entre le 10° et le 6° de latitude sud, dans la presqu'île de Malacca, dans les îles de Junk-Ceylan et dans celles de Banca, à l'est de Sumatra. Ces gisements appartiennent à une compagnie hollandaise, riche et puissante, qui les exploite exclusivement. Tous les produits, calculés sur les besoins de la consommation, sont expédiés, à peu d'exceptions près, en Europe et vendus aux enchères publiques sur le marché d'Amsterdam, à des époques déterminées, de telle façon que les cours ne puissent être avilis. Plusieurs spécimens de ces minerais étaient exposés dans les vitrines des Pays-Bas.

L'étain se rencontre, paraît-il, en Chine et au Japon en quantités assez notables, mais on n'a pas de données précises sur les ressources que ces contrées peuvent offrir à l'industrie européenne.

La quantité d'étain livrée au commerce pendant l'année 1866 s'est élevée, d'après les documents qui nous ont été communiqués, aux chiffres suivants :

Angleterre	8,822	tonnes.
Hollande, provenant de l'archipel Malaisien	8,955	—
Autriche	70	—
Saxe	68	—
Suède	90	—
Espagne	de 7 à 9	—
Total	18,014	tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On estime que la Chine, les États-Unis, la Nouvelle-Grenade et la Bolivie, peuvent accroître ce total de 4 à 500 tonnes. Nous ne l'inscrivons, cependant, qu'à titre de simple renseignement, attendu que la plupart des minerais de ces provenances sont importés et réduits en Angleterre, et peuvent très-bien se trouver compris dans sa production.

Le prix de l'étain a subi depuis 1848 des fluctuations assez nombreuses : la tonne a valu de 2,150 francs jusqu'à 3,530 francs ; elle se paye au cours actuel de 1,900 francs à 2,200 francs, suivant les provenances et le degré de pureté du métal.

§ 2. — Mercure.

Le sulfure de mercure ou cinabre est, à proprement parler, le seul minerai qui serve à la fabrication de ce métal ; il est facilement reconnaissable par son poids, sa couleur d'un rouge foncé et les traces graisseuses et écarlates qu'il laisse aux doigts. Il se rencontre principalement dans les dépôts stratifiés, quelquefois cristallisé, mais, d'habitude, en masses compactes irrégulières. On le trouve accidentellement à l'état natif, en globules disséminés dans la gangue des mines où il est exploité, ou réuni dans des cavités en quantité suffisante pour y être puisé et recueilli.

Les alchimistes ont beaucoup travaillé ce métal ; ils le considéraient comme le principe de tous les êtres, l'âme de tous les métaux : c'est à leurs observations, et à toutes les extravagances auxquelles ils se sont livrés pour opérer la transmutation des métaux vils en or ou en argent, que la science est redevable des premières et des plus difficiles découvertes qui ont été faites sur le mercure. La plupart de ses propriétés chimiques, de ses composés et de ses applications ont été étudiés et mis en lumières par ces infatigables chercheurs. Les emplois du mercure dans les arts et l'industrie sont trop connus pour qu'il soit utile de les rappeler ici, et personne n'ignore son rôle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

considérable dans le traitement métallurgique des minerais d'or et d'argent. C'est là qu'il a son plus grand débouché. Avant l'invention de la dorure par la pile et les perfectionnements apportés aux procédés de Ruolz et Elkington, il était très-employé pour la dorure. Ses sels donnent lieu à des combinaisons et à des produits très-divers qui échappent à notre examen.

Les mines de mercure ne sont pas communes, et parmi elles très-peu sont activement exploitées. On prétend qu'il en existait jadis en Grèce et en Asie ; mais de toutes celles que les anciens, chez qui les usages de ce métal étaient assez répandus, exploitaient, on ne connaît plus que les mines d'Almaden, en Espagne. Déjà exploitées 700 ans avant l'ère chrétienne, elles continuèrent à l'être sous la domination romaine ; devenues la propriété des chevaliers religieux de Calatrava qui avaient contribué à l'expulsion des Mores d'Afrique, elles furent affermées aux célèbres Fuggers d'Augsbourg qu'elles enrichirent.

Depuis l'année 1645, elles sont retournées aux mains du gouvernement espagnol qui les fait encore valoir : ce sont les plus réputées et les plus riches d'Europe. Près de celles-ci se rencontrent les mines de las Cuebas et d'Almadenejos, qui, bien que moins étendues, fournissent cependant des quantités importantes de mercure. La section espagnole offrait, dans son exposition minéralogique, des échantillons remarquables et nombreux de ces mines. Ces minerais rendent en moyenne 10 pour 100 de métal. Mais l'analyse démontre qu'une quantité considérable en est perdue par les imperfections du travail. On prétend même que les résidus accumulés autour des usines pourraient être repris avantageusement à l'aide de procédés plus rigoureux et mieux étudiés.

Les mines d'Idria, en Carniole, d'Illyrie et de Carinthie, découvertes en 1497, prennent rang immédiatement après celles-ci, ainsi que celles du Palatinat dont la puissance productive s'est singulièrement amoindrie. Il en existe encore en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Bohême et en Hongrie qui contribuent pour une faible part aux besoins de l'industrie.

L'Algérie avait envoyé quelques échantillons de cinabre d'un aspect médiocre malgré leur ampleur. Les gîtes qui les ont fourni ne paraissent pas avoir une grande importance industrielle, soit que les recherches auxquelles ils ont donné lieu n'aient pas été très-activement poursuivies, soit que les minerais aient été trouvés trop pauvres.

L'Italie possède aussi des mines de mercure en Toscane dont les premières fouilles remontent à l'année 1160. Quelques produits insignifiants les représentent à peine et servent à expliquer leur abandon. Une seule mine est actuellement en exploitation, la mine de Siele, près de Castelazara, dont les minerais rendent à peine 2.5 pour 100 de métal. — Cette substance est pareillement exploitée aux environs d'Agordo dans la Haute-Vénétie.

Les procédés d'extraction du mercure ne sont ni très-difficiles ni très-compliqués ; ils reposent partout sur des appareils de distillation diversement appropriés à ce principe et qu'il n'y a pas lieu de décrire ici ne pouvant exposer à l'appui des dessins propres à faire ressortir leur mécanisme et les particularités qui les distinguent. Le minerai, suffisamment trié et préparé, est réduit par l'action combinée de la chaleur et de l'air. On le charge dans des cornues, placées dans un four disposé à cet effet, qu'on échauffe graduellement jusqu'à ce que la décomposition du métal commence à s'opérer : le soufre se convertit en acide sulfureux tandis que le mercure, mis en contact avec un courant d'air chaud fortement oxydant qui pénètre dans l'appareil par des conduits spéciaux, se sublime et va se condenser dans de grandes chambres disposées à cette fin sur les côtés du fourneau.

On estime que la quantité de mercure extraite des diverses mines du continent européen, s'élève à 14,346 quintaux métriques, ainsi répartis :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

			Quint. mét.
Espagne			8,350
Autriche..	Idria	5,000 q. m.	5,400
	Carniole-Carinthie		
	Hongrie, Bohême, etc.	400 —	
Palatinat			300
Italie....	Toscane	66 —	296
	Agordo (Vénétie)	230 —	
	Total		14,346q.m.

Les mines de mercure du nouveau monde fournissent un appoint considérable à cette production ; elles ont cela d'intéressant, par suite de la découverte des gîtes de New-Almaden, en Californie, qu'elles subviennent presque entièrement aux besoins du traitement des minerais d'or et d'argent de ces vastes régions. — Si les mines du Pérou, qui, du temps des Espagnols, produisaient de 5 à 600 quintaux, n'en donnent plus guère aujourd'hui que de 75 à 80, en revanche, celles de New-Almaden ont vu leur production s'accroître au point de pouvoir en expédier annuellement en Europe plus de 1,000 quintaux, quantité qui reste disponible, après qu'elles ont approvisionné le nouveau monde, pour l'exploitation des mines d'argent qui en absorbent de très-grandes quantités. De 1853 à 1860, les mines de Californie ont extrait en moyenne 6,350 quintaux annuellement. Il est résulté de cet accroissement que le kilogramme de mercure, qui valait alors de 12 à 14 francs, est tombé au prix de 6 à 7 francs ; prix susceptible de baisser encore à l'occasion de la nouvelle activité qu'ont déployée ces mines après quelque temps d'arrêt, motivé par des discussions, maintenant applanies, qui s'étaient élevées entre les propriétaires de ces vastes gisements.

§ 3. — Manganèse.

Ce métal n'étant pas encore sorti du domaine des laboratoires, nous n'avons à considérer que ses minerais dont l'emploi dans les arts ont une tout autre importance. Une plume

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'ailleurs plus autorisée s'est chargée de l'examiner sous ce premier aspect.

Les minerais manganésiques se présentent en assez grande abondance et sous des formes variées dans les diverses roches qui le renferment ; ils consistent en oxydes, en sulfures, en silicates, en carbonates et parfois en phosphates de manganèse. Les oxydes et les carbonates offrent seuls un intéret industriel.

Le manganèse se rencontre dans presque tous les pays et y est exploité avec une certaine activité, en raison de ses emplois dans leurs industries. Cette substance sert dans les verreries pour blanchir le verre, c'est-à-dire pour lui enlever les teintes sombres que lui donnent les matières carbonacées, ou pour le colorer en violet. Il est utilisé dans la composition des couvertes de faïences communes et pour la préparation du chlore employé pour le blanchiment des tissus, du papier, etc., ainsi que comme agent de désinfection dans la purification de l'air. Il paraît avoir un rôle sérieux dans la production du gaz oxygène destiné à l'éclairage. Mais son action sur la qualité des fontes destinées à la fabrication de l'acier et du métal Bessemer lui assignent, à la suite des nombreuses expériences qui ont constaté son influence décisive, un rang important dans la métallurgie du fer.

Les collections minéralogiques établies au Champ-de-Mars renferment toutes des échantillons remarquables de ces minerais ; citons en première ligne ceux de la Prusse, de l'Espagne et des États-Unis. La Russie expose deux magnifiques candélabres, sur lesquels nous appelons ici l'attention, parce qu'ils sont taillés en plein carbonate de manganèse.

Le manganèse est exploité en France à Romanèche, près de Mâcon ; dans les départements de l'Allier, de la Dordogne et du Cher. Il se rencontre également dans l'Aude et les Pyrénées, en gîtes isolés ou associés aux minerais de fer de ces régions, ce qui ne contribue pas peu aux qualités exceptionnelles de ceux-ci. Ils seraient bien autrement employés si des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

communications faciles permettaient leur accès. Les exploitations de manganèse tendent à se développer partout où la sidérurgie et la fabrication de l'acier sont en progrès.

Voici approximativement les quantités de manganèse extraites en 1866 dans les centres minéralogiques de l'Angleterre et du continent.

			Tonnes.
Grande-Bretagne			1,250
Allemagne..	Prusse	1,325 tonnes.	13,925
	— Nassau	12,000 —	
	Autriche	600 —	
Espagne			6,500
Italie			150
France, Saône-et-Loire, Aude et Rhône			650
Total			21,475 t.

§ 4. — Antimoine.

L'antimoine n'est pas un métal très-recherché, et sa présence dans les minerais de plomb, de cuivre, d'argent et d'étain en rend le traitement plus compliqué et parfois assez désavantageux. Les alliages d'antimoine sont seuls employés ; uni à l'étain, qu'il durcit, il sert à fabriquer un grand nombre d'ustensiles; mais à cet état il est surtout employé dans la composition des caractères d'imprimerie. Il est utilisé en médecine et dans la teinture, etc.

L'antimoine a joué un grand rôle dans l'alchimie, sous les noms de *plomb sacré*, de *racine des métaux*, et a donné lieu au XVI^e^ siècle à des disputes restées célèbres dans le Parlement.

L'antimoine s'exploite en France, en Autriche, en Saxe, au Mexique, en Sibérie et dans les Indes ; presque tout celui qui est consommé en Angleterre lui arrive de Singapoure. L'Algérie et la Corse en possèdent des gîtes considérables.

Le traitement des minerais d'antimoine se résume par deux opérations : dans la première, on le fond pour le séparer de sa gangue, et l'on obtient un sulfure d'antimoine désigné sous le nom d'*antimoine cru ;* dans la seconde, le sulfure se réduit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec du charbon et se transforme en antimoine métallique ; c'est le régule d'antimoine. Le compartiment français en renfermait de beaux échantillons.

La production totale de l'antimoine à ces divers états se répartit dans les termes suivants :

			Tonnes.
Grande-Bretagne.	Minerais	950 tonnes.	1,960
	Régule	1,010 —	
France			560
Autriche			800
Prusse et Zollewerein			665
Italie			100
Espagne			85
Total			4,170 t.

§ 5. — Nickel et Cobalt.

Parmi les métaux utiles qui nous restent à mentionner, le nickel tend depuis quelques années à se répandre de plus en plus, tant à cause de ses propriétés de densité et de son inaltérabilité à l'air, que par les alliages nombreux dans lesquels on le fait intervenir avec un succès croissant. Son emploi dans la fabrication des monnaies, essayé en Belgique, paraît devoir encore lui offrir de nouveaux débouchés. A la faveur des nouveaux procédés de dorure, dont nous avons déjà parlé, il s'est, sous le nom de *maillechort*, ou de *cuivre blanc d'Allemagne*, etc., — alliage de cuivre, de nickel, associé à quelque peu d'étain ou de zinc et de bismuth destiné à le blanchir, — substitué au plaqué et à la vaisselle d'argent.

Le nickel s'extrait du *kupfernickel* des pyrites nickelifères, du speiss obtenu comme produit secondaire dans le traitement des minerais de cobalt nickelifère et des autres combinaisons où il se trouve associé. Les mines les plus productives se trouvent en Norwége, en Suède, en Saxe, en Allemagne, et c'est de là que viennent la plupart des produits livrés à la consommation. On le trouve exposé en Prusse en petits cubes, et, sous forme

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de speiss, dans les compartiments des usines à cuivre d'Angleterre, ainsi que dans les vitrines de la Suède. Mais toutes ces matières et les échantillons de minerais qu'on peut observer ailleurs ne fournissent pas d'indications nouvelles sur les procédés de traitement et les perfectionnements qui ont été introduits dans les méthodes pratiquées, soit en Angleterre, soit en Allemagne, les fabricants de ces pays tenant généralement leurs manipulations secrètes. Tout ce que l'on peut dire, c'est que l'extraction du nickel s'effectue principalement par le procédé imaginé par Vöhler, et qu'on l'amène à l'état de pureté voulue à l'aide de procédés assez délicats empruntés à la voie humide. Nous ne pouvons les aborder sans entrer dans des détails qui nous entraîneraient beaucoup au delà des limites qui nous sont imposées.

Le nickel se trouve également en France, en Piémont, en Italie, en Espagne, aux États-Unis, et pourrait s'y exploiter aussi utilement sans doute si les méthodes d'extraction venaient à se simplifier ou à se vulgariser davantage.

Le nickel vaut communément de 1,500 à 1,700 francs les 100 kilogrammes.

On n'a pas de données certaines sur la production du nickel. Voici quelques chiffres que nous donnons sur la foi des documents que nous avons pu nous procurer près des commissaires étrangers :

Angleterre	Minerais	1,745	tonnes.
Autriche		600	—
Prusse		220	—
Nassau	Speiss	52	—
Saxe		15	—
Italie		7	—
États-Unis	Minerais	2,350	—
Suède et Norwége	Speiss	150	—

Le *cobalt* fait partie de la plupart des gîtes nickelifères et s'extrait principalement des mines de Marienberg en Saxe, de Hoffnung, près de Siegen, en Prusse, et des mines de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Haute-Hongrie, à Neusohl et à Joachimsthall dans l'empire d'Autriche. Il est livré au commerce sous le nom de smalt ; très-recherché dans les arts pour sa belle couleur bleue, il est notamment employé dans les fabriques de porcelaine et de poteries fines pour colorer les pâtes ou les orner, dans la cristallerie, dans la fabrication des papiers peints et des toiles peintes auxquelles il sert aussi à donner l'apprêt. Sous la république française, on avait établi, dans les Pyrénées, une fabrique d'azurs et de saffre, alimentée par les minerais de la vallée de Gistens.

§ 6. — Bismuth et Cadmium.

Ces métaux sont encore des métaux précieux pour les arts, en raison de leurs propriétés spéciales dans les alliages recherchés pour les emplois domestiques et pour l'orfévrerie de table ; ils donnent, celui-ci de la blancheur aux composés de nickel, celui-là plus de dureté et d'éclat à l'étain. Le bismuth produit, avec l'étain et le plomb, l'alliage fusible de Darcet, qui fond aux plus basses températures ; amalgamé au mercure, il sert à l'étamage des glaces. Le nitrate de bismuth, précipité dans l'eau, forme la base d'une lotion estimée par les femmes pour se blanchir la peau ; le sous-nitrate est actuellement fort en vogue dans la thérapeutique.

Le bismuth se rencontre le plus ordinairement à l'état natif ; sa couleur est d'un blanc terne, tirant sur le rose. C'est le seul minéral qui soit assez abondant pour donner lieu à une exploitation métallurgique. Il se trouve ainsi en Saxe, qui livre presque tout celui qui est consommé dans l'industrie. Le bismuth est presque toujours associé à l'arsenic et accompagne accidentellement divers filons de cobalt, de nickel et même de plomb argentifère, où sa présence a été constatée, soit en Suède, soit en France, soit en Autriche et en Angleterre. Il existe également, dans les filons stannifères et cuprifères de Cornwall, à l'état d'oxyde, de sulfure et de carbonate ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

il s'extrait, paraît-il, accidentellement de certains résidus métalliques cuivreux et nickéliques, provenant du traitement opéré dans les usines de Swansea.

Le cadmium accompagne presque tous les minerais de zinc, carbonates ou sulfures ; les calamines d'Espagne en renferment de 2 à 5 pour 100. La calamine de Monsuet (Vieille-Montagne) est, de toutes, celle qui en contient le moins. Il en existe, dit-on, de vastes gisements au Mexique. Le cadmium s'extrait du zinc métallique ; la Belgique et la Prusse en ont exposé quelques échantillons. Sans faire connaître les procédés nouveaux auxquels on prétend avoir recours pour le recueillir, il serait à désirer que ce métal pût être obtenu plus abondamment et plus économiquement qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Ce qui n'est pas impossible si l'on veut réfléchir qu'il se volatilise à 800 degrés, tandis que le zinc exige, dans le traitement métallurgique, une température normale de 1,400 degrés environ.

§ 7. — Arsenic.

Nous ne parlons de l'*arsenic*, dont les composés et les produits figurent dans une autre classe, que pour faire connaître les quantités de cette substance, qui s'exploite seule ou simultanément avec les minerais d'antimoine, de nickel, de cobalt, etc., auxquels elle se trouve associée. L'arsenic a de nombreux emplois. On l'exploite notamment en Autriche, dans le district de Hall ; à Joachimsthal, en Bohême, ainsi que dans la Haute-Hongrie, à Felsobanya. La Saxe, la Prusse et le Cornwall, en Angleterre, l'exploitent également. On estime que, en 1866, il a été retiré des mines de ces divers pays environ 2,610 tonnes de minerai d'arsenic, savoir :

Angleterre	1,116	tonnes.
Autriche	125	—
Prusse	1,225	—
Saxe	140	—

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 8. — Métaux divers.

Tout sera dit sur ce sujet, lorsque nous aurons signalé à l'attention la vitrine de MM. Johnson, Mathey et C^ie^, de Londres, où sont exposés, entre autres métaux intéressants pour les arts, à l'égal du nickel, du cobalt et du bismuth, que nous venons de passer en revue, des échantillons de palladium, d'iridium, d'osmium, de rhodium, de molybdène, de sodium, etc., obtenus par des procédés propres à ces habiles fabricants, à leur état de pureté presque absolue. Mais ce ne sont là que les accessoires de leur vaste fabrication, organisée en vue de la purification des matières d'or et d'argent qui affluent de toutes parts en Angleterre. Les vitrines de nos fabricants de produits chimiques et pharmaceutiques prouvent cependant que nous ne sommes pas étrangers à ces fabrications. MM. Lamy, Rousseau frères, Ménier, etc., exposent, chacun de leur côté, des échantillons de ces divers métaux qui, sans ajouter à leur réputation, témoignent qu'ils sont au courant des travaux de la science et de tous les perfectionnements qui peuvent vulgariser leur emploi, et qu'ils sont à même d'entreprendre ces fabrications avec le même succès.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION XIII

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉTAT DU TRAVAIL DES MINES

PAR M. E. PETITGAND.

Jamais concours ne s'est présenté avec une telle profusion de matières et de produits et n'a offert un aussi vaste champ d'études.

L'activité du travail humain se révèle encore ici par la progression dans la production des métaux usuels et des métaux précieux ; elle a suivi l'impulsion qu'on remarque partout dans la fabrication du fer, qui en est à tous égards la plus éclatante manifestation. C'est que, abstraction faite de la valeur propre de l'or et de l'argent, ces moteurs souverains de l'échange, le fer, le cuivre, l'étain et tous les métaux utiles, ont, dans les sociétés modernes, une importance de plus en plus considérable. Le philosophe, l'économiste, l'homme d'État, en envisagent bien moins les quantités jetées dans la circulation que la masse de valeurs qu'ils servent à y créer, et l'énorme augmentation de travail et de transactions commerciales, provoquées par la circulation et par leurs transformations indéfinies.

Aussi voit-on partout les arts métallurgiques, sollicités par les besoins croissants de l'industrie, fleurir et se développer. Ils trouvent tous les jours, dans l'exploitation des mines, de nouvelles ressources, et dans les investigations persévérantes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la science qui les éclaire, de nouveaux procédés et des perfectionnements qui viennent sans cesse stimuler leur élan. L'Exposition exprime admirablement cette situation. Elle porte la vigoureuse empreinte de leurs progrès et des efforts de chaque nation pour agrandir et fertiliser cette source féconde de la production ; et de fait, aucune ne caractérise mieux les forces du génie de l'homme et ne concourt davantage avec l'agriculture, cet autre élément de la richesse territoriale, à l'accroissement de la puissance et de la fortune publiques. La France tient dignement son rang dans les industries métalliques ; elle y a conquis de nouvelles palmes, attestant une fois de plus l'énergie et la souplesse de l'esprit national.

Toutefois, ce spectacle et les travaux de l'Europe ne doivent pas nous permettre trop de complaisance pour les nôtres ; il ne faut pas que, par un sentiment exagéré de nos succès, nous oubliions que tous ont marché avec ardeur dans la même voie ascendante et nous disputent souvent la prééminence.

Depuis soixante ans, l'exploitation de nos houillères est allée progressant après de longues hésitations, démontrant la richesse de nos gîtes de combustible ; l'extraction, qui, en 1860 encore, atteignait à grand'peine 8 à 9 millions, dépasse aujourd'hui 12 millions de tonnes ; d'un autre côté, sous l'empire de besoins nouveaux, et grâce à l'impulsion des spéculateurs et des capitalistes, la sidérurgie s'est à la fois accrue et perfectionnée en s'appropriant toutes les innovations heureuses ; enfin, elle se distingue non moins par l'extension et la puissance de son outillage que par les progrès et l'économie de ses procédés et de ses méthodes de fabrication. Ces résultats doivent être signalés avec un légitime orgueil et nous rassurer sur l'avenir. Malheureusement, nous sommes loin d'éprouver les mêmes satisfactions lorsque nous venons à considérer la situation de nos mines métalliques. A cet égard, notre infériorité est flagrante ; elle impressionne péniblement, et, disons-le, l'administration a-t-elle assez fait pour détruire cette impression ? Elle exhibe tout au plus quelques spécimens, dignes de figurer dans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un cabinet d'histoire naturelle, pour ne point paraître les ignorer. Est-ce à dire que notre sol soit privé des ressources minérales qui enrichissent la Grande-Bretagne, l'Allemagne et tous les pays où l'art des mines est en faveur ? Faut-il attribuer cet abandon et cette stérilité chez nous à l'ignorance des difficultés premières d'une industrie soumise entre toutes à des conditions particulières d'organisation, ou à notre inaptitude, à la faiblesse de nos moyens, ou aux mécomptes que des tentatives mal conçues ont fait éprouver aux capitalistes ? Faut-il plutôt s'en prendre au régime qui la gouverne, aux entraves qui l'entourent, ou enfin à l'administration elle-même ? Toujours est-il que l'attention ne s'y porte pas et que l'esprit d'association, ce bienfaisant génie de la libre Angleterre, n'a point encore cherché à étendre son influence sur nos gîtes métallifères.

Quand on la regarde de près, cette industrie spéciale présente partout les mêmes chances aléatoires et les mêmes lenteurs d'organisation, et partout aussi des péripéties pareilles (les mines les plus célèbres n'en sont point exemptes). Et cependant notre éloignement et nos répugnances ne devraient pas être tels que nous allions délibérément enfouir, au delà de nos frontières et des mers, les capitaux que nous lui refusons chez nous. Nous devenons aussi téméraires à l'étranger que craintifs sur notre sol.

Quelles sont les causes de l'état actuel de nos mines ? Puisque l'occasion s'en présente, examinons cette question. Elle se rattache, d'ailleurs, à d'autres considérations qui ne sont pas sans rapports avec le sort de nos diverses industries.

D'abord ce serait une grave erreur de prendre l'état de notre industrie minérale pour type de ce qu'elle a été et de ce qu'elle peut redevenir ; ni les rares échantillons que l'administration des mines a tirés de ses collections minéralogiques pour les exposer, ni les efforts des exploitants peu nombreux qui sont venus se mettre en ligne ne permettent de l'apprécier dans son passé ni dans son avenir.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sans nous arrêter aux analogies de formation qui se rencontrent entre notre territoire et celui des pays voisins, il est permis de dire que nos régions métallifères, comparées aux centres miniers où sont renfermées les exploitations si vantées du Hanovre, de la Saxe, de la Bohême, de la Hongrie, de l'Angleterre, etc., ne sont pas moins développées ni moins riches. On y reconnaît mieux les conditions favorables de gisement. Qu'on pénètre dans le massif des Vosges, ou dans les landes de la Bretagne, là comme dans les départements groupés autour de la Lozère ou échelonnés sur les flancs des Pyrénées et dans les gorges des Alpes, on est porté à penser que les gîtes et les mines y sont tout aussi fréquents et aussi répandus. Disons plus. Ils s'y présentent avec des circonstances identiques de position et avec tous les caractères et les particularités qui les distinguent dans les contrées du dehors les plus heureusement dotées. Ce n'est pas une simple présomption, c'est une très-forte probabilité, résultant des études consciencieuses d'un grand nombre d'observateurs et d'ingénieurs dévoués, mus par l'attrait des recherches scientifiques ou par le désir de combattre les doutes et les préjugés du public. Ajoutons que la France possède assez de filons constatés et connus pour qu'il y ait lieu de croire que l'exploitation en serait profitable. Elle l'a déjà été.

Nos traditions nous apprennent, en effet, que, à diverses époques, nos gîtes, parmi nos anciennes provinces, ont eu leurs jours de splendeur. Les régions montagneuses de l'Alsace, de l'Auvergne, du Languedoc, ont gardé les traces de travaux plus ou moins étendus, prouvant que les mines métalliques ont été exploitées sur une assez vaste échelle et avec des succès dont le souvenir s'est gravé dans l'esprit des populations.

Ce n'est pas l'heure de refaire l'histoire de ces entreprises; elle exigerait des détails qui ne peuvent trouver place ici; il suffira de dire que, dans le passé, aux époques où cette industrie était, en Europe, dans toute sa splendeur, l'exploita-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion des mines métalliques a également donné en France des résultats importants.

Les documents certains qui ont été conservés à ce sujet témoignent de la faveur dont cette industrie jouissait; ils nous éclairent en même temps sur les causes diverses de sa prospérité et de sa décadence. Les mines étaient alors aux mains de seigneurs ou de corporations religieuses, possesseurs riches et puissants, et exploitées par des praticiens habiles et des ouvriers exercés. Alors se trouvaient réunies toutes les conditions favorables de succès : chez les entrepreneurs, direction intelligente et prévoyante dans la conduite des travaux, personnel nombreux et expérimenté, façonné par un long apprentissage aux difficultés du métier; chez les propriétaires, puissance de capitaux et patience pour parer aux alternatives d'abondance et de pauvreté, aux revers imprévus qui ralentissent la marche des exploitations, et puissance de production chez les ouvriers. A ces avantages étaient attachés des immunités et des priviléges de toute sorte pour encourager le traitement métallurgique des minerais, telles que la création d'hôtels de monnaies et l'exemption de redevances ou d'impôts au profit des localités où ces branches d'activité prospéraient. Ce fut le système qui prévalut et fut pratiqué par les comtes de Foix, du Rouergue, l'évêque d'Embrun, les ducs de Nevers, les comtes de Toulouse, etc., à l'époque féodale.

Les luttes de la royauté contre les princes à apanages et les suzerains turbulents de cette époque tumultueuse devaient y porter une première atteinte. A une ère de prospérité succéda bientôt un temps de souffrance pour les mines métalliques. D'autres causes ne devaient pas tarder à précipiter cet abandon, indépendant de la richesse des gîtes; en dehors de la découverte de l'Amérique, qui fit délaisser tant de mines en Europe et modifia si profondément le régime de la production des métaux précieux, citons nos discordes civiles, les invasions de l'étranger et les guerres de religion qui ensanglantèrent sur-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tout les régions où l'exploitation s'était maintenue. Le résultat de longs travaux fut anéanti, et, quand on voulut les reprendre, les ouvriers étaient dispersés et les traditions perdues. C'est que dans les entreprises de cette sorte, pour peu qu'elles soient interrompues, tout est à refaire, et là où la main de l'homme s'est arrêtée, ce n'est qu'au prix de labeurs prodigieux qu'on parvient à les rétablir. Les fameuses exploitations du Hanovre et du pays de Galles, si elles avaient été atteintes par les mêmes calamités, n'auraient pas davantage résisté.

Les édits, les ordonnances promulgués par les rois, Charles VI, Louis XI, Henri IV, à travers ces bouleversements prolongés, furent impuissants à faire revivre une industrie perdue. A tout prendre, ces édits prouvent une chose, c'est que, quelles que fussent les conditions d'existence qui les régissaient, l'exploitation des mines avait sa raison d'être et un fonds réel où s'asseoir. En s'attribuant la propriété exclusive des mines sur le domaine de ses vassaux, la monarchie entendait bénéficier à son tour des sources de leur opulence. Mais, privées des hommes spéciaux qui avaient disparu, les mines métalliques devaient forcément péricliter, et ne firent que déchoir de plus en plus. Si dans le courant du XVIII^e^ siècle elles jettent un instant de fugitives lueurs; si, grâce à la hardiesse de quelques hommes qui suivent le mouvement dont commence à s'agiter la société, on voit se ranimer les mines d'Alsace, Giromagny, Sainte-Marie-aux-Mines; celles de Pontpéan, Poullaouen et Huelgoet, en Bretagne; de Baigorry, dans les Pyrénées; de Pontgibaud, en Auvergne, et Vialas et de Villefort, dans le Languedoc, etc., ce n'est que pour nous rappeler que le sol n'est point épuisé. Nulle part, il est permis de le dire, les mines n'ont été alors bien sérieusement exploitées : les tentatives éphémères, qui ont eu lieu plus tard dans la plupart de ces localités, se sont bornées à enlever les massifs métalliques indiqués par d'anciens travaux ou des affleurements qui n'ont pas été poursuivis; leur seul mérite est d'avoir renoué la chaîne du passé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tandis que l'exploitation des mines allait sans cesse s'amoindrissant et disparaissait en France, elle s'organisait chez les nations voisines, sur les bases solides que nous admirons, préservée qu'elle était des suites désastreuses des guerres, et protégée par la sollicitude des souverains, qui, souvent, y prenaient une part directe.

L'industrie minière, on l'a exprimé ailleurs, est devenue partout un des ressorts de la puissance nationale; elle s'est établie, perfectionnée et développée à l'abri d'institutions tutélaires. En Allemagne, elle fut protégée sans intermédiaire, subventionnée même par les princes régnants dont l'exemple fut suivi par les familles féodales. Mais, comme cette industrie ne s'improvise pas plus que les hommes spéciaux propres à la diriger, et que l'exploitation et la fonte des minerais ne peuvent s'apprendre qu'avec le concours d'un personnel particulier, réunissant à des connaissances aussi variées qu'étendues la pratique du métier, et en groupant autour de chefs capables des ouvriers habiles, on établit des écoles pratiques qui en vulgarisèrent les préceptes et les méthodes, et répandirent le goût de cette profession. Ce n'est qu'à la faveur de ce concours permanent d'assistance vigilante que cette industrie s'est perpétuée et agrandie dans les districts miniers du Harz, de la Saxe, de la Suède, etc. Ce n'est pas un sous-sol privilégié, c'est une éducation exceptionnelle et une ferme persévérance qui ont fait leur supériorité.

D'autres mobiles avaient pu sans doute agir sur l'esprit des chefs de ces États ; ils trouvaient dans les exploitations une source assurée de profits, en même temps qu'elles procuraient un travail continu à des populations pauvres dont ils n'auraient su autrement, ni utiliser les bras, ni garantir la subsistance. En cela, la pensée politique s'harmonisait avec les intérêts matériels du pays. Ce n'est pas tout; la liberté d'attaquer le sol pour y chercher des minerais, réservée en principe au souverain, pouvait être revendiquée en vertu d'anciens usages par les particuliers eux-mêmes. Divers règlements, em-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

preints de l'esprit de chaque race et de ses coutumes, déterminaient l'exercice et les conditions de ce droit. Restrictifs quelquefois, ou dénaturés par un système de fiscalité maladroite, au demeurant, ils concouraient, malgré la diversité des moyens, à l'épanouissement ou au développement des mines métalliques.

Voilà pour le passé : il nous a transmis sur nos mines des renseignements que les vicissitudes qu'elles ont subies n'ont jamais pu démentir ; mais aussi, il nous a légué une situation contre laquelle les efforts tentés à diverses reprises, et les exemples du dehors, sont restés impuissants.

Cette situation qu'elle n'avait pas faite, la Révolution l'avait comprise, elle voulut y remédier ; l'Agence des Mines de la République fut créée. L'Agence des Mines se mit résolument à l'œuvre et, avec un dévouement supérieur aux obstacles, s'appliqua à rechercher dans le sol tous les moyens qui pouvaient contribuer à la défense du pays et à accroître sa grandeur. Des explorations entreprises avec ardeur mirent de nouveau en évidence les richesses de notre territoire, et rappelèrent l'attention sur des gîtes oubliés. Là ne se borna pas la sollicitude de cette institution, devenue plus tard le Corps des mines. S'inspirant des efforts tentés aux derniers jours de la monarchie, et des lois et des coutumes, dont l'action bienfaisante sur le sort des mines métalliques s'était fait sentir ailleurs, elle chercha, par une instruction appropriée et des études expérimentales, à faire pénétrer dans nos habitudes les principes d'un art qui ne peut s'exercer utilement, malgré les théories les plus savantes, qu'autant qu'il est appuyé sur un personnel aguerri par la pratique et de longues observations.

La sagesse de ces vues ne pouvait échapper à l'Empire, qui prit les idées de la République en les façonnant à son tempérament. Les exploitations domaniales de Geislautern, dans la Sarre, et de Pesey, dans le département du mont Blanc, que l'État avait érigées en écoles, à l'instar de celles du Hanovre et de la Saxe, fournirent un enseignement précieux. Ici on devait enseigner

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les procédés des exploitations houillères et de la fabrication du fer, là on appliquait les méthodes variées de l'exploitation des filons métalliques, des arts minéralurgiques et de la fonte des minerais. Comme la possession des mines importe peu, si on ne jouit d'une législation conforme à leurs conditions vitales, la loi du 21 avril 1810 fut promulguée. C'est le Code qui nous régit encore. Il ne répondait pas entièrement aux vœux et aux sentiments particuliers des praticiens et de la plupart des membres du corps des mines de cette époque ; néanmoins, si cette loi ne laisse pas à l'individu sa liberté d'action, elle reconnaît à chacun le droit, peut-être un peu illusoire, de participer à la richesse souterraine. Elle confère à la propriété des mines, jusqu'alors incertaine, les garanties de transmissibilité et d'inviolabilité de tout autre propriété. Une de ses dispositions fondamentales, en harmonie avec son caractère protecteur, remédiait jusqu'à un certain point à ses imperfections, et pouvait encourager l'industrie qu'on voulait restaurer : il s'agit de l'article 39, abrogé depuis par un simple arrêté ministériel. Cet article stipulait expressément que les redevances imposées sur le revenu des exploitations et des usines formeraient « un fond spécial déposé au trésor public « pour être appliqué aux dépenses de l'administration des « mines *et à celle des recherches, ouverture, mise en acti-* « *vité de mines nouvelles, ou rétablissement des mines an-* « *ciennes.* » C'était une réminiscence heureuse des idées allemandes.

La loi ainsi comprise, consacrant le principe des concessions à perpétuité, et fournissant à l'état les moyens de vulgariser les méthodes d'exploitation par son exemple, de former une pépinière d'ouvriers intelligents, placés sous la direction d'ingénieurs éprouvés, et d'étendre nos champs d'exploitation, la loi, disons-nous, permettait à des concessionnaires d'entreprendre avec confiance les travaux de longue haleine, qui sont de l'essence de cette industrie.

Loin de là, les espérances qu'avaient fait naître ces pré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nisses se sont évanouies. L'enseignement professionnel s'est écroulé avec l'Empire. Les écoles établies plus tard, ou bien n'ont pas été destinées à la partie la plus élevée de la hiérarchie, les ingénieurs, ou ont été ouvertes loin de toutes les mines, à Paris. Comme s'il suffisait de l'enseignement théorique, quelque profond qu'il puisse être, qui résulte de l'installation d'une école des mines dans une grande cité, même avec le concours des professeurs éminents et des savants réunis dans ces foyers des lumières ! Comme si l'enseignement pratique avait cessé d'être apprécié et ne devait plus servir qu'aux déshérités de la science pure ! Quant aux mines métalliques, proprement dites, rien n'a été fait. Presque toutes les entreprises tentées pour les exploiter d'une manière rationnelle et continue ont échoué ; l'élan qui avait été donné à notre industrie minière a disparu. Il eut pu en être autrement, si les moyens réservés pour la recherche des gîtes avaient reçu cette destination.

En outre, une réglementation excessive, que la loi n'avait ni prévue ni voulue, a été imposée par les actes de concession, ce qui a rendu les exploitations peu productives et en a détourné les capitaux. Le doute s'est répandu sur la valeur de nos gîtes. L'administration elle-même semble partager ces sentiments de défiance contre les ressources naturelles de notre sol. Dans un des derniers rapports sur la situation de l'empire, on lit : « La France n'a que peu de substances « minérales exploitables ; le nombre des mines est peu con- « sidérable, et presque toutes les contrées où gisent les « mines sont dépourvues de communications économiques, « et alors les produits n'en peuvent être livrés qu'à des prix « supérieurs aux prix de revient ! » Mais il y a cinquante ans qu'on signale ces vices, et l'on tourne toujours dans le même cercle, en s'appitoyant sur le sort des classes ouvrières « qui « trouveraient de nouveaux champs de travail et d'améliora- « tions, en ouvrant à notre pays les nouvelles sources de ri- « chesse que nos mines renferment ! » On n'a pas établi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

encore ces communications tant réclamées, qui eussent permis, par exemple, à nos forges du Midi de s'approvisionner, dans les Pyrénées-Orientales, ou dans l'Ariége, de ces minerais de fer, aussi abondants qu'estimés, et rivalisant avec ceux de même nature qui forment la base de la fabrication styrienne et prussienne, dont on admire à l'Exposition les aciers si homogènes.

D'autres causes sont venues accroître les défiances et les difficultés, et parmi celles-ci, il convient de ne point omettre les impatiences irréfléchies résultant de l'organisation des affaires de mines et surtout la désastreuse influence des spéculateurs.

Arrêtons-nous : il ne s'agit pas ici de faire le procès de l'Administration et moins encore de déprécier le Corps des mines. Il serait injuste de méconnaître ses brillantes aptitudes et ses beaux services dans les écoles spéciales et les chaires des facultés, dans les corps savants et dans l'Institut lui-même, dans les administrations publiques, les chemins de fer, où il apporte son activité, son amour du bien public et ses lumières, etc.; mais nous constatons, dans leurs conséquences déplorables, des faits qui ont amené et perpétuent l'inertie d'une industrie liée au succès de tant d'autres branches d'activité. Si nous y insistons, c'est que les mêmes causes les atteignent toutes plus ou moins directement dans leur existence. Ce qu'il y a malheureusement de trop réel, c'est qu'en présence de l'immense développement de la production minière chez toutes les nations, nous restons immobiles, et que persister plus longtemps dans ce système ce serait, malgré les ressources minérales de notre territoire, se vouer indéfiniment à l'impuissance et méconnaître les devoirs que nous impose le progrès, à défaut des intérêts des populations. Les enseignements que l'Angleterre et l'Allemagne offrent à notre émulation ne doivent pas être perdus, et il est opportun de s'inspirer enfin des mesures libérales et intelligentes qui leur méritent l'état de prospérité et les succès que nous envions pour notre pays.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il ne nous appartient pas de formuler autrement les réformes d'une législation à quelques égards insuffisante et par d'autres côtés contraire au but qu'on cherche à atteindre aujourd'hui ; toutefois, il y a lieu de réclamer en faveur des mines métalliques, comme le plus sûr moyen de les tirer de leur léthargie, la franchise et la liberté dont elles jouissent ailleurs. Ce principe cependant ne saurait être exclusif; nous voudrions qu'il profitât aussi aux autres industries avec toutes ses conséquences. Jamais, en effet, le travail n'a eu besoin en France de plus de liberté ; excepté les tarifs des droits d'entrée, rien n'a changé dans le régime fait à l'industrie : elle reste encore paralysée, sous le réseau des restrictions, soumise à une tutelle ombrageuse et placée sous le joug de l'autorisation préalable. Est-il possible que les gênes imposées à l'industrie, sous l'empire d'idées désormais condamnées, subsistent en présence des franchises inaugurées par rapport aux échanges internationaux, par le régime de la liberté commerciale ?

Pour ne parler en ce moment que de l'industrie du cuivre, si habilement pratiquée dans notre pays, où ce métal est sans contredit le mieux travaillé, subissant entre les mains de nos fabricants les transformations les plus étendues et ces applications multiples qui accusent avec tant d'éclat les aptitudes et la supériorité de goût de l'ouvrier français, on se demande involontairement comment il se fait que nos gîtes cuprifères, qui pourraient contribuer à l'alimenter, sont si obstinément négligés et dédaignés. Leur exploitation serait-elle plus difficile ou ne pourrait-on pas appliquer à ces mines, avec les mêmes avantages, les méthodes ingénieuses usitées à Atvidaberg en Suède, à Perm en Russie, dans le Mansfeld prussien, et sur tant d'autres points du continent, sur tant de minerais de même nature? Nous ne le pensons pas. Notre misère ne vient certes pas de l'insuffisance de nos mines. Malgré sa réserve habituelle, l'Administration constate dans ses comptes rendus, si sobres de détails, vingt-huit à trente concessions de mines de cuivre, en regrettant chaque fois leur stérilité et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les mécomptes dont elles semblent être perpétuellement l'objet. Ce n'est pas pourtant que ces concessions soient pauvres, puisque la plupart renferment des filons très-réguliers et que quelques-unes sont signalées comme abondantes, et d'autres comme contenant en parties notables l'argent qui suffirait à les rendre fructueuses. Dès l'antiquité, presque toutes ont été exploitées, reprises et puis délaissées encore. Parmi celles où la Gaule avait mis la main, et après elle les Romains, mentionnons les mines de Ceilles dans l'Hérault, de Rouvière dans l'Ardèche, de Brassac; plus loin, Ternoy dans la Haute-Saône, Baigorry dans les Pyrénées, etc., qui ont gardé la trace de grands travaux. Les filons des Alpes, des Cévennes et de l'Alsace en particulier, ont donné lieu à des exploitations très-actives. Sans parler de Giromagny, de Plancher-aux-Mines, déjà cités, dont les nombreux filons constituent un des plus vastes districts métallifères de l'Europe, les mines du Rouergue et du Beaujolais attestent, par mille souvenirs, que leurs richesses avaient été appréciées. Et de fait, au moyen âge, la France tirait assez de cuivre de ses mines pour fournir à l'étranger de la chaudronnerie et des ustensiles de cuisine. Il y a donc quelque chose à faire. Mais l'impatience du public, en ce moment, repousse ces entreprises qui ne rendent pas à jour fixe ces bénéfices fantastiques que le dévergondage des spéculations fait miroiter à tous les yeux. Nos vues étroites s'accomodent mal de ces lenteurs et, il faut bien le dire aussi, avec notre foi invétérée dans l'infaillibilité de l'Administration, le public s'éloigne des industries qu'elle semble considérer comme sans chances de succès. Il nous manque la persévérance ; il nous manque les hommes et les institutions qui devraient nous façonner à cette industrie spéciale. Nous avons tous les courages, sauf celui de risquer froidement notre argent sur notre sol. Mais qu'on vienne nous proposer une expédition lointaine, qu'il s'agisse de reprendre les exploitations bouleversées du Mexique, ou d'aller à la recherche des mines de Madagascar, vous trouverez tout de suite des capitaux et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des personnages plus ou moins posés, tout prêts à patronner de leurs noms et de leur influence ces aventureuses expéditions. Mieux vaudrait se livrer à l'étude de nos richesses minérales, dont l'exploitation aurait le mérite de procurer aux populations de nos régions montagneuses, sinon l'aisance, du moins le travail sur place, tandis qu'à cette heure elles vont le chercher au milieu de la transformation de la capitale. Certes, nous admirons ces splendeurs, mais il importe de féconder nos déserts tout autant que de créer des Babylones.

Notre opinion personnelle est donc qu'il y a lieu de perfectionner le principe de notre loi des mines; de rejeter les interprétations restrictives qui en dénaturent l'esprit, ainsi que les formules qui favorisent l'immixtion de l'État dans les intérêts privés. Toutefois, nous ne serions pas éloigné d'admettre qu'il y aurait de l'intérêt pour la science même à ce que l'État possédât et exploitât lui-même diverses mines choisies, et dans le but d'y installer des écoles pratiques, où les jeunes ingénieurs achèveraient de s'instruire au contact de l'expérience. Mais, quoi qu'on fasse et quoi qu'on veuille, quand tout marche et s'agite autour de nous, il est impossible que nous restions immobiles et indifférents en présence des besoins de l'activité nationale : ayons particulièrement les yeux fixés sur l'Allemagne et l'Angleterre, et rendons-nous compte de ce qui leur vaut aujourd'hui leurs progrès dans les arts métallurgiques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

DU

TOME CINQUIÈME

GROUPE V

PRODUITS BRUTS ET OUVRÉS DES INDUSTRIES EXTRACTIVES.

CLASSE 40.

PRODUITS DE L'EXPLOITATION DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE.

SECTION I.

SUBSTANCES MINÉRALES,

PAR M. DAUBRÉE.

CHAPITRE I.

		Pages.
INTRODUCTION GÉNÉRALE		5
§ 1.	Aperçu historique	9
	Galène argentifère	11
	Cuivre	12
	Étain	13
	Fer	15
§ 2.	Observations générales	18

CHAPITRE II.

COMBUSTIBLES.

§ 1.	Combustibles des différents âges	21
§ 2.	France	29
§ 3.	Iles Britanniques	35
§ 4.	Belgique	38
§ 5.	Prusse	39

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

		Pages.
§ 6.	Saxe	41
§ 7.	Autriche	41
§ 8.	Italie	43
§ 9.	Espagne	43
§ 10.	Portugal	44
§ 11.	Suède et Norwége. Islande. Spitzberg	45
	Suède	45
	Norwége	45
	Islande	45
	Spitzberg	45
§ 12.	Empire russe	46
§ 13.	Turquie	50
§ 14.	Amérique du Nord	50
	États-Unis	50
	Amérique anglaise	52
	Amérique boréale	53
	Californie	53
§ 15.	Amérique du Sud	54
	Chili	54
	Brésil	55
§ 16.	Afrique	55
	Natal	55
	Madagascar	55
§ 17.	Asie	56
	Inde	56
	Chine	57
	Japon	58
	Iles Philippines	58
§ 18.	Australie	58
	Nouvelle-Galles du Sud	58
	Victoria	59
	Tasmanie	59
	Nouvelle-Zélande	59
	Bornéo, Nouvelle-Calédonie	59
§ 19.	Observations générales	59
	Poursuite du terrain houiller sous des terrains plus récents.	62
	Études topographiques des terrains houillers	65
	Carte topographique souterraine du bassin houiller de Valenciennes et du couchant de Mons	65
	Carte topographique superficielle et souterraine du bassin houiller du Pas-de-Calais	66
	Étude des bassins houillers de la Creuse	66
	Étude du bassin houiller de la Loire	66
	Topographie de la grande couche de Rive-de-Gier	66
	Carte du terrain dévonien du départ. de la Loire-Inférieure.	66
	Représentation graphique du bassin houiller de Liége	67

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III.

BITUMES ET HUILES MINÉRALES.

		Pages.
§ 1.	Bitumes	68
	Amérique du Nord	69
	France	79
	Espagne	81
	Portugal	81
	Italie	81
	Hanovre	82
	Autriche : Galicie	82
	Croatie et Dalmatie	83
	Principautés danubiennes	84
	Empire russe	85
	Perse	89
	Cuba	89
	Birmanie	89
	Trinité	89
	Observations sur le gisement des bitumes	90
§ 2.	Schistes bitumineux ou naphtoschistes	91
	Grande-Bretagne	92
	Pays d'Allemagne	92
	Espagne	93
	Italie	93
	Russie	93
	Nouvelle-Galles du Sud	93
	Brésil	93

CHAPITRE IV.

MINERAIS DE FER.

§ 1.	Fer oxydulé	94
	Fer oxydulé magnétique, magnétite	94
	Suède	94
	Norwége	95
	France	95
	Algérie	96
	Sardaigne	96
	Italie	97
	Autriche	97
	Oural	97
	États-Unis et Canada	98
	Cuba	99
	Brésil	99
	Portugal	100

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

APPENDICE : 1° Franklinite 100
— 2° Fer titané 100
§ 2. Fer oxydé rouge 101
Italie 102
France 102
Angleterre 103
Nassau 103
Belgique 104
Espagne 104
Nouvelle-Galles du Sud 104
§ 3. Fer carbonaté. — I. Fer spathique 104
Prusse et Autriche 104
France 105
Espagne 106
Italie 106
Angleterre 107
§ 4. Fer carbonaté. — II. Fer carbonaté lithoïde 107
Angleterre 107
France 110
Prusse 111
Russie 111
Etats-Unis 111
§ 5. Fer oxydé hydraté 111
France 111
Production de la Belgique 118
Production de la Prusse 119
Grand-duché du Luxembourg 119
Algérie 120
Espagne 120
Haute Silésie et Pologne 121
Russie 121
États-Unis 121
Nouvelle-Écosse 121
§ 6. APPENDICE. — Minerais de fer de formation contemporaine. 121

CHAPITRE V.

MINERAIS DES MÉTAUX AUTRES QUE LE FER.

§ 1. Minerais de zinc 123
France 124
Belgique 124
Prusse 126
Russie 126
Espagne 127
Sardaigne 128
Italie 128

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Angleterre 128
Suède 129
Observations sur les gîtes de minerais de zinc 129
§ 2. Minerais de nickel et de cobalt 130
§ 3. Minerais d'étain 132
France 132
Iles Britanniques 133
Saxe et Bohême 133
Espagne 134
Asie 134
Bolivie et Mexique 135
États-Unis 135
Australie 135
§ 4. Minerais d'antimoine 136
§ 5. Minerais de cuivre 136
France 136
Angleterre 138
Suède et Norwége 139
Prusse 140
Autriche 141
Italie 141
Espagne 141
Portugal 141
Russie 142
États-Unis 143
Canada 144
Colonies espagnoles; Cuba et Philippines 144
Chili 145
Pérou 147
Confédération argentine 147
Bolivie 148
Cap de Bonne-Espérance 148
Australie 148
§ 6. Minerais de plomb argentifère 149
France 149
Algérie 151
Angleterre 151
Belgique 152
Prusse 152
Autriche 153
Espagne 153
Italie 153
Grèce 154
Chili 154
États-Unis 155
§ 7. Minerais de mercure 155

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Espagne 155
Prusse 156
Autriche 156
Italie 156
Chili 157
Pérou 157
Mexique 157
Californie 157
§ 8. Minerais d'argent 158
Saxe et Autriche 158
Norwége et Suède 159
Écosse 159
Espagne 160
Empire russe 160
Chili 161
République argentine 162
Bolivie et Pérou 162
Amérique centrale 162
Mexique 163
États-Unis 163
Grande étendue de la zone argentifère de l'Amérique septentrionale 168
9. Minerais d'or 171
Europe 171
Empire russe 172
Californie 172
Colorado 174
Alleghanis 175
Nouvelle-Écosse 176
Canada 177
Victoria 177
Nouvelle-Galles du Sud 180
Cuba 181
Chili 182
Guyane française 182
Venezuela 182
§ 10. Minerais de platine 184

CHAPITRE VI.

MINÉRAUX SERVANT AUX INDUSTRIES CHIMIQUES.

§ 1. Oxydes de manganèse 184
§ 2. Fer chromé 186
§ 3. Minerais d'arsenic 187
§ 4. Pyrite de fer 188
France 188

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Belgique ... 189
Prusse ... 190
Suède et Norwége ... 191
Iles Britanniques ... 191
Italie ... 191
Espagne ... 191
Portugal ... 192
Canada ... 195
§ 5. Soufre ... 195
§ 6. Sel gemme ... 199
§ 7. Sulfate de soude ... 202
§ 8. Sels de potasse ... 203
§ 9. Chaux phosphatée ou phosphorite ... 206
Première découverte des rognons dans les terrains stratifiés. 208
Poursuite de cette découverte en Angleterre : mise en exploitation ... 209
Poursuite de cette étude en France ... 209
Extraction actuelle en France ... 212
Découverte en Westphalie, dans le terrain houiller ... 213
Découverte dans le Nassau, au milieu des gîtes de minerai de fer ... 213
Découverte analogue en Belgique ... 214
Exploitation de la chaux phosphatée en Espagne, dans les filons de l'Estramadure ... 214
Découverte de filons semblables, en Portugal ... 215
Découverte, en Portugal, de phosphate, dans le terrain crétacé. 216
Tentatives d'exploitation de l'apatite de Jumilla, dans un gisement volcanique ... 216
Faits acquis sur les gisements de phosphates et observations qui s'y rattachent ... 217
1° Chaux phosphatée dans les terrains stratifiés ... 217
2° Chaux phosphatée dans les roches éruptives ... 221
3° Chaux phosphatée dans les filons métallifères, ou amas d'origine analogue ... 221
Origine du phosphore dans ses différents gisements ... 222
§ 10. Magnésie carbonatée ou magnésite. — Écume de mer ... 223
§ 11. Cryolithe ... 224
§ 12. Bauxite ... 225
§ 13. Minéraux barytiques ... 225
§ 14. Fluorine ... 226
§ 15. Acide borique et borax ... 226

CHAPITRE VII.

MINÉRAUX D'ORNEMENT.

§ 1. Roches d'ornement tendres. — Marbres et serpentines ... 229

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

§ 2. Roches d'ornement dures..... 230
§ 3. Pierres gemmes et pierres précieuses..... 231
Diamant..... 231
Émeraude..... 233
Pierres gemmes de Russie..... 234
Pierres gemmes du Brésil..... 234
Pierres gemmes de Victoria..... 235
Turquoises..... 235
Pierres diverses..... 236

CHAPITRE VIII.

MINÉRAUX DIVERS COMPLÉTANT LA SÉRIE DES MINÉRAUX UTILES.

§ 1. Émeri..... 237
§ 2. Quartz employé pour sa dureté ou ses qualités réfractaires. 241
Tripoli..... 242
§ 3. Kaolins et argiles réfractaires..... 243
§ 4. Ardoises..... 245
§ 5. Stéatite..... 246
§ 6. Feldspath..... 246
§ 7. Mica..... 247
§ 8. Graphite..... 247
§ 9. Couleurs minérales naturelles..... 249
§ 10. Sols végétaux..... 250
Glauconie employée comme amendement..... 250
§ 11. Eaux souterraines..... 251
§ 12. Météorites..... 252

CHAPITRE IX.

COLLECTIONS ET ÉCHANTILLONS DE ROCHES, MINÉRAUX ET MINERAIS..... 253

SECTION II.

COMBUSTIBLES ARTIFICIELS,

PAR M. EDMOND FUCHS.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES..... 259
Tableau des combustibles artificiels..... 260

CHAPITRE II.

CHOIX DES MATÉRIAUX.

1. Charbons..... 264
Tableau de la composition des mélanges..... 266

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

§ 2. Ciments 269
Goudron 269
Brai gras 269
Brai sec 269

CHAPITRE III.

FABRICATION DES BRIQUETTES.

§ 1. Broyage et malaxage 270
§ 2. Agglomération proprement dite. — Appareils de compression. 272
Appareils à moules ouverts 277
Appareils à roues 279
Tableau des divers systèmes 284

CHAPITRE IV.

PRIX DE REVIENT, CONSOMMATION ET QUALITÉ DES COMBUSTIBLES ARTIFICIELS.

§ 1. Prix de revient et de vente 285
§ 2. Production et consommation 286
§ 3. Qualités et usages 287
Tableau des charbons, nº 4 290

SECTION III.

ACIER,

PAR M. GOLDEMBERG.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES 292

§ 1. Division des aciers 293
Aciers naturels 293
Aciers cémentés 294
Aciers fondus 294
Aciers puddlés 295
Aciers Bessemer 296
§ 2. Procédé Martin, Bérard, etc 300
§ 3. Comparaison des divers aciers connus 302
§ 4. Frais de fabrication 316
§ 5. Usages et propriétés des divers aciers 318
§ 6. Résultats économiques des progrès accomplis et progrès prochains 330
France 334
Angleterre 334
Prusse 335
Autriche 335
Suède 33

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

FABRICATION DE L'ACIER EN FRANCE.

Pages.

§ 1. Observations d'ensemble 337
§ 2. Statistique de la production 343
§ 3. Examen des produits exposés 345
Société de Terre-Noire, La Voulte et Bességes (Loire) 349
Usine Verdié 352
Usine Holtzer et Cie 354
Société des aciéries d'Imphy-Saint-Seurin 355
Usine Dietrich et Cie à Niederbronn (Bas-Rhin) 356
Usine Gouvy frères et Cie, à Hombourg (Moselle) 357

CHAPITRE III.

FABRICATION DE LA PRUSSE 357

§ 1. Usine Krupp 361
§ 2. Autres usines de Prusse 364
Société Bochum (Westphalie) 364
Usine Konigshütte (en Sibérie) 366
Usine Horde (Prusse) 367
Usine Peter Harkort et fils (Wetter-sur-Ruhr) 368
Usine Berger et Cie (Witten-sur-Ruhr) 368
Usine Heirnichshütte (près de Hattingen-sur-Ruhr) 368
Usine Heinrich Dresler 369
Usine de la Société anonyme de Coln-Musen 369
Usine Kreutz 369
Usine Meurer 369
Usine du comte de Furstenberg (Burgholdinghausen) 369
Usine Fromberg et Wildt (Hermanshütte) 370
Usine Georg Marien (Onasbrück) 370

CHAPITRE IV.

FABRICATION DE L'AUTRICHE 370

Usine Frantz de Mayr, à Léoben (Styrie) 376
Administration I. R. de Neuberg (Styrie) 377
Usine du prince de Schwarzemberg, à Murau (Styrie) 378
Usine du chevalier de Fridau (Vienne) 379
Compagnie du chemin de fer du Sud (Gratz) 381
Compagnie des chemins de fer de l'Est (Vienne) 382
Société Rauscher (Carinthie) 382
Usine du baron Dickmann (Carinthie) 383
Usine I. R. de Jnnerberg (Styrie) 384
Association Radmeister (Styrie) 384
Usine du comte Henkel de Donnersmarck (Haute Styrie) ... 384
Société anonyme à Storé (Styrie) 385
Usine du comte Meran (Gratz) 385

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
Usine du comte de Thurn (Styrie)..... 385
Usine Johann-Adolfshütte (Styrie)..... 385
Forges d'Eibiswald..... 386

CHAPITRE V.

FABRICATION DE L'ANGLETERRE.

§ 1. Situation nouvelle de l'industrie métallurgique anglaise..... 386
§ 2. Aciers cémentés et aciers fondus au creuset..... 390
Usine Turton son et Burys et Cie..... 392
Usine Naylor, Wickers et Cie..... 393
§ 3. Aciers puddlés..... 393
§ 4. Invention du procédé Bessemer..... 394
§ 5. Mode d'opération du procédé Bessemer..... 399
§ 6. Théorie du procédé Bessemer..... 405
§ 7. Application de l'acier Bessemer..... 407
Fabricants d'acier Bessemer en Angleterre..... 411

CHAPITRE VI.

FABRICATION DE LA BELGIQUE..... 415

CHAPITRE VII.

FABRICATION DE LA SUÈDE.

§ 1. Caractère de la fabrication..... 416
Tableau de la production de la Suède..... 428
§ 2. Produits exposés..... 432
Usine Aspelin..... 432
Usine Lindberg..... 434
Fabricants d'acier Bessemer en Suède..... 434
Usine de Dannemora..... 435
Usine Ulff..... 436
Usine Zethelius..... 436

CHAPITRE VIII.

FABRICATION DE LA RUSSIE..... 436
Usine Demidoff..... 440
Usine d'Artinsk..... 440
Usine de Nynétourwisk..... 441
Usine Paschkoff..... 441
Usine Votkinst..... 441
Usine Zlatooust..... 441
Usine Katav Ivanovsk..... 442

CHAPITRE IX.

FABRICATION DE L'ITALIE..... 442

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE X.

Pages.
FABRICATION DE L'ESPAGNE ... 446
Usine de Trubia ... 449

CHAPITRE XI.

FABRICATION DES ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE ... 450
Tableau statistique de la production des fers ... 455

CHAPITRE XII.

CONCLUSION ... 457

SECTION IV.

L'ACIER EN 1867 ... 462

PAR M. E. FRÉMY.

§ 1. Acier fin au petit creuset ... 463
§ 2. Acier puddlé ... 463
§ 3. Acier Bessemer ... 466
Aciération par cémentation ... 477
Aciération par le puddlage ... 477
Aciération par la fonte ... 477
§ 4. Avenir de l'aciération ... 478

SECTION V.

FONTES ET FERS,

PAR MM. EDMOND FUCHS ET P. WORMS DE ROMILLY.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ... 483

CHAPITRE II.

RÉSUMÉ HISTORIQUE.

§ 1. Fonte ... 491
Procédés de fabrication ... 491
Utilisation des gaz des hauts fourneaux ... 493
Forme des hauts fourneaux ... 494
Matières premières ... 496
Utilisation des scories de forges ... 499
Nature des fontes ... 500
Moulage ... 502
§ 2. Fer ... 504
Affinage au bas foyer ... 504
Puddlage ... 505
Utilisation de divers combustibles ... 506

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Utilisation des chaleurs perdues 508
Puddlage mécanique 508
Méthode d'affinage rapide 509
Procédé Bessemer 510
Métal homogène 511
Appareil servant au travail mécanique du fer 511

CHAPITRE III.

PRODUITS 513

§ 1. France 514
Société des mines et fonderies du Creuzot 514
La Société des forges de Châtillon et Commentry 516
Les usines Dietrich et Cie 517
La Compagnie des forges d'Audincourt 517
La Société des forges de la Franche-Comté 518
La Société de Montataire 519
Les établissements Wendel, Dupont et Dreyfus, Karcher et Westerman 519
Les forges de Denain et Anzin 520
La Société Boigues-Rambourg et Cie 520
La Société anonyme des forges de la Providence 521
Les forges de Maubeuge 521
La Société de Terre-Noire, la Voulte, Bességes 521
La Société métallurgique de l'Ariége 521
§ 2. Belgique 524
§ 3. Prusse 525
Fonte 526
Fer 527
La Société du Phénix 528
La Compagnie des mines et usines de Hœrde 528
Établissements Borsig (Berlin) 528
Tableau sur la consistance des usines en Prusse 529
Id. sur les produits des mêmes usines 530
§ 4. Autriche 530
§ 5. Espagne 532
§ 6. Suède et Norwége 534
Fonte 534
Fers 535
§ 7. Russie 538
§ 8. Italie 540
§ 9. États-Unis 541
§ 10. Grande-Bretagne 542
Tableau de la fabrication de la fonte et du fer 544
Tableau de la production en fonte de la Grande-Bretagne .. 544
§ 11. Résumé 544

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VI.

FERS ET ACIERS OUVRÉS 546

PAR M. MARTELET.

CHAPITRE I.

Pages.
PIÈCES DE FORGE 547

CHAPITRE II.

TUBES ET FERS CREUX 552

CHAPITRE III.

TRÉFILERIE 556

CHAPITRE IV.

CLOUTERIE 560

CHAPITRE V.

TISSUS MÉTALLIQUES ET TOLES PERFORÉES 565

§ 1. Toiles métalliques 565
§ 2. Tôles perforées 567

CHAPITRE VI.

AIGUILLES 568

CHAPITRE VII.

FERRONNERIE, BOULONNERIE, ETC. 572

§ 1. Ferronnerie 572
§ 2. Boulonnerie. Visserie 573

CHAPITRE VIII.

QUINCAILLERIE 576

CHAPITRE IX.

TAILLANDERIE 581

§ 1. Scies et outils tranchants 583
§ 2. Faux 585
§ 3. Limes 587

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VII.

Pages.

CUIVRES BRUTS ET AFFINÉS 590

PAR M. J. MARTELET.

§ 1. Chili 591
§ 2. Autres États de l'Amérique du Sud 596
§ 3. États-Unis 596
§ 4. Grande-Bretagne 598
§ 5. Autres pays d'Europe 600

SECTION VIII.

EXPLOITATION ET TRAITEMENT DES MINERAIS DE PLOMB 604

PAR M. L.-E. RIVOT.

CHAPITRE I.

FRANCE.

Fonderies et laminoirs de Biache-Saint-Waast, près d'Arras 605
Fonderies de Couéron (Loire-Inférieure) 606
Société anonyme des mines et fonderies de Pont-Gibaud (Puy-de-Dôme) 606
Société des mines de Largentières, près de Briançon 608
Société des mines de Villefort, Vialas et du Rouvergne 609
Algérie 612
Gar-Rouban 612
Kef-oum-Tiboul 612

CHAPITRE II.

BELGIQUE 613

Société des mines de Bleyberg et Montzen 614

CHAPITRE III.

PRUSSE. — ÉTATS DU NORD DE L'ALLEMAGNE 615

Usine d'Ems 615
Société des mines et usines de Holzappel 616
Compagnie des mines et usines de Stolberg 616
Mines et usines de Westphalie 616
Société des mines et usines d'Eschweiler 617
Société des mines et usines de Muesen et Cologne 617
Société des mines et usines de Kirchen 617
Usine royale de Tarnowitz 618

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
Mines et usines du Harz 618
Nouveau procédé de traitement métallurgique 620
Usines royales de Freyberg 623

CHAPITRE V.

PORTUGAL 625
Mines et usines de Braçal et Malhada 625

CHAPITRE VI.

ANGLETERRE 626

SECTION IX.

ZINC,

PAR M. EDMOND FUCHS.

CHAPITRE I.

RÉSUMÉ HISTORIQUE 627
Production de la Vieille-Montagne 630
Production des usines du Rhin et de la Silésie 631
Production totale du zinc en Europe 631

CHAPITRE II.

ORIGINE, MÉTALLURGIE, PRODUCTION ET CONSOMMATION DU ZINC.

§ 1. Minerais 632
1° Nature des minerais 632
2° Provenance et distribution des minerais 634
§ 2. Métallurgie 635
§ 3. Centres métallurgiques. Production. Consommation 638
Ventes de la Vieille-Montagne 640
Nouvelle-Montagne 640
Groupe des usines de la Prusse 641
Tableau de la production des usines prussiennes 641
Usines de Viviers et de Panchot (Aveyron) 643
Usines anglaises 644
États-Unis d'Amérique 644
Production et consommation annuelle du zinc 645

CHAPITRE III.

USAGES DU ZINC 645
§ 1. Zinc fondu 646

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

§ 2. Zinc laminé 646
Toitures 647
Couvertures à tasseaux 649
Couvertures en écailles 651
Couvertures en zinc ondulé et cannelé 652
Estampage 653
Satinage 654
Doublage de navires 654
Ustensiles pour les usages domestiques et industriels 655
Zinc perforé 655
Tréfilerie 656
Clous 656
§ 3. Blanc de zinc 658

SECTION X.

PLATINE, OXYGÈNE, SILICIUM ET BORE, GLYCINIUM 661

PAR M. SAINTE-CLAIRE DEVILLE.

Corps simples 662
Oxygène 663
Silicium et bore, glycinium 664

SECTION XI.

MÉTAUX RARES 665

PAR M. SAINTE-CLAIRE DEVILLE.

§ 1. Aluminium 666
§ 2. Magnésium 668
§ 3. Sodium 668
§ 4. Rubidium 669
§ 5. Iridium 669
§ 6. Thallium 669

SECTION XII.

MÉTAUX DIVERS 671

PAR M. PETITGAND.

§ 1. Étain 672
§ 2. Mercure 676
§ 3. Manganèse 679
§ 4. Antimoine 681

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
§ 5. Nickel et cobalt 682
§ 6. Bismuth et cadmium 684
§ 7. Arsenic 685
§ 8. Métaux divers 686

SECTION XIII.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉTAT DU TRAVAIL DES MINES 687

PAR M. PETITGAND.

FIN DU TOME V.

Paris. — Imprimerie Paul Dupont, rue de Grenelle-Saint-Honoré, 45.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires